

İSTANBUL TEKNİK ÜNİVERSİTESİ ★ FEN BİLİMLERİ ENSTİTÜSÜ

BASINÇLI FİLTASYON SİSTEMLERİNİN TASARIMINA
VE
ÇAMUR ŞARTLANDIRILMASINA YENİ BİR YAKLAŞIM

YÜKSEK LİSANS TEZİ

Müh.TURGUT.T.ONAY

Ana Bilim Dalı : ÇEVRE MÜH.

Programı : ÇEVRE

HAZİRAN 1989

ÖNSÖZ

Bu çalışmanın başından itibaren her türlü desteği gösteren, değerli bilgi ve önerileriyle beni yönlendiren tez danışmanım Sayın Doç. Dr. İ. Ethem GÖNENÇ'e en derin teşekkürlerimi sunarım.

Ayrıca tezin şekil çizimlerine yardımcı olan Osman SEVİMLİTÜRK ile büyük bir sabır ve titizlikle daktilo çalışmalarını yürüten Ersin ONAY'a ve değerli yardımlarını gördüğüm İngiltere, Water Research Center araştırmacılarından Jon OVENS'e teşekkür ederim.

{ p. 50 birimler
p. 87 dozaj → koni dolca

İÇİNDEKİLER

ŞEKİL LİSTESİ	v
TABLO LİSTESİ	vii
SEMBOLLER	ix
ÖZET	x
SUMMARY	xii
BÖLÜM 1. GİRİŞ	1
BÖLÜM 2. ÇAMUR SUYUNU ALMA ÇALIŞMALARINA GENEL BAKIŞ	3
2.1. Çamur Üretimi ve Türleri	3
2.1.1. Giriş	3
2.1.2. Çamur Üretimi	3
2.1.3. Çamur Türleri ve Kaynakları	3
2.2. Çamur Karakteristikleri	7
2.2.1. Giriş	7
2.2.2. Çamur Özgül Ağırlığı	7
2.2.3. Katı Madde Konsantrasyonu	8
2.2.4. Dane Boyutu Dağılımı	9
2.2.5. Çökelme Karakteristikleri	11
2.2.6. Reolojik Özellikler	13
2.2.7. Çamur Suyunun Dağılımı	16
2.3. Çamur Şartlandırma	18
2.4. Çamur Suyunu Alma Sistemleri	21
2.4.1. Giriş	21
2.4.2. Çamur Kurutma Yatakları	23
2.4.3. Çamur Kurutma Lagünleri	27
2.4.4. Vakum Filtreler	28
2.4.5. Filtre Pres	33
2.4.6. Bant Filtre Pres	36
2.4.7. Santrifüj	40
2.5. Sistemlerin Genel Olarak Karşılaştırıl- ması ve Avrupa'da Kullanımı	46
2.6. Filtrasyon Teorisine Genel Bakış	49
2.7. Çamur Suyunu Alma Özelliklerinin Belir- lenmesinde Kullanılan Parametreler	60
2.7.1. Filtrasyona Özgül Direnç (SRF)	62
2.7.2. Kapiler Emme Süresi (CST)	65
2.7.3. Basıncılı Filtrasyon Süresi (PFT) ..	70
2.7.4. Sıkışabilirlik	70

2.8.	Aktif Çamur Sisteminde İşletme Parametrelerinin Çamur Suyunun Alınabilirliğine Etkileri	72
BÖLÜM 3.	FİLTASYON TEORİSİNDE PFT YAKLAŞIMI	75
BÖLÜM 4.	DENEYSEL ÇALIŞMA	87
4.1.	Giriş	87
4.2.	Deneysel Materyel	87
4.2.1.	PFT Ölçüm Yöntemi	87
4.2.2.	PFT İle Kek Üretim Yöntemi	98
4.2.3.	Santrifüj Deneyleri	102
4.3.	Deney Programı	105
BÖLÜM 5.	DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ ..	110
5.1.	Polielektrolitle Yapılan Kimyasal Şartlandırmanın PFT Üzerine Etkisi	110
5.1.1.	Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi	111
5.1.2.	Optimum Polielektrolit Dozajının Belirlenmesi	115
5.2.	Sıkışabilirlik İndeksinin Çamur Konsolidasyonu Üzerine Etkisi	120
5.3.	Basınç Değişimlerinin Çamur Suyunu Alma Özelliklerine Etkisi	123
5.3.1.	Basıncın PFT Üzerine Etkisi	124
5.3.2.	Çamur Sıkışabilirliğinin Belirlenmesi	126
5.3.3.	Basıncın Kek Konsantrasyonu Üzerine Etkisi	131
BÖLÜM 6.	SONUÇLAR	136
KAYNAKLAR	.....	139
EK 1.	KULLANILAN AYGIT LİSTESİ VE ÜRETİÇİLERİ	143
EK 2.	"OPTIFLOC" KARIŞTIRMA SİSTEMİ	144
ÖZGEÇMİŞ	.....	145

ŞEKİL LİSTESİ

<u>Şekil No.</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Çamur Kaynakları ve Türleri	5
2.2	Viskozite Tanımı	13
2.3	Değişik Akışkan Türleri	14
2.4	Çeşitli Maddelerin Dane Boyu Dağılımı	18
2.5	Çamur Kurutma Yataklarının Temel Prensibi ...	24
2.6	Çamur Kurutma Yatağı Bileşenleri	25
2.7	Vakum Filtre Sistemi ve İşletme Bölgeleri ...	29
2.8a	Filtre Pres Şematik Görünümü	35
2.8b	Sabit Plakalı Filtre Pres Kesiti	35
2.9	Bir Bant Presin Şematik Görünümü	39
2.10	Decanter Santrifüj Şematik Görünüşü	42
2.11	Filtrasyonun Fiziksel Mekanizması	49
2.12	Sıkışamayan ve Sıkışabilir Malzemeler İçin Basınç Düşmesi	54
2.13	Filtre Plakasında Çamur Konsantrasyonu Değişimi	56
2.14	Filtre Plakasında Basınç Değişimi	56
2.15	Kek Mobilite Sayısının Sıkıştırma Süresine Olan Etkisi	59
2.16	Sıkışabilir Bir Çamur İçin Tipik Filtrasyon Eğrisi	61
2.17	Buchner Hunisi Aygıtının Şematik Görünümü ...	62
2.18	Değişik Çamurlar İçin SRF'nin Değişimi	66
2.19	CST Aygıtı Şematik Görünümü	67
2.20	Değişik Çamurlar İçin CST'nin Değişimi	69
2.21	Sıkışabilirlik Katsayısının Belirlenmesi	72
3.1	PFT ile SRF Arasındaki İlişki	77
3.2	Performans Kartı (D=%90, W=32mm)	83
3.3	Performans Kartı (D=%98, W=32mm)	84
3.4	Performans Kartı (D=%95, W=25mm)	85
3.5	Performans Kartı (D=%98, W=38mm)	86
4.1	Flokülasyonda Kullanılan Karıştırma Ekipmanları	89
4.2	Deneylerde Kullanılan PFT Metre	90
4.3	Filtrasyon Düzeneği Şematik Görünümü	91
4.4	Süzüntü Toplama Kolonu	92
4.5	Kullanılan Santrifüj Kolonları	102
4.6	Good-Year Evsel Atıksu Tesisi Akım Şeması ...	106
5.1	Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi (18.9 kg/m ³)	112
5.2	Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi (30 kg/m ³)	112
5.3	Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi (40 kg/m ³)	113
5.4	Polielektrolit Dozajının PFT Üzerine Etkisi .	116

<u>Şekil No.</u>		<u>Sayfa</u>
5.5	Değişik Aktif Çamur Konsantrasyonları İçin Sıkışabilirlik İndeksinin Bulunması	121
5.6	PFT'nin Basınçla Değişimi	125
5.7	Sıkışabilirlik Katsayısının Bulunması ($C_0 = 18.9 \text{ kg/m}^3$)	128
5.8	Sıkışabilirlik Katsayısının Bulunması ($C_0 = 30 \text{ kg/m}^3$)	129
5.9	Sıkışabilirlik katsayısının Bulunması ($C_0 = 40 \text{ kg/m}^3$)	130
5.10	Kek Konsantrasyonunun Basınçla Değişimi	133
5.11	Sıkıştırma Süresinin Hesaplanması	135
A-2.1	"Optifloc" Karıştırıcısı	144

TABLO LİSTESİ

<u>Tablo No.</u>		<u>Sayfa</u>
2.1	Değişik Çamur Türlerinin Özellikleri	6
2.2	Değişik Arıtım Süreçlerinden Kaynaklanan Çamurların Özgül Ağırlıkları ve Miktarları	8
2.3	Çeşitli Arıtma Birimlerinden Elde Edilen Çamurların Beklenen Konsantrasyonları	10
2.4	Çamurların Reolojik Özellikleri	15
2.5	Değişik Çamurlar İçin Tipik Polielektrolit İlaveleri	19
2.6	Değişik Aktif Çamur Proseslerinden Kaynaklanan Atık Çamur Üretimi ve Çamur İşleme Prosesi Verimliliği	23
2.7	Üzeri Açık Kurutma Yatakları İçin Gerekli Alan Gereksinimleri	26
2.8	Çeşitli Çamur Türleri İçin Vakum Filtrasyon Dönüşüm Oranları ve Kek Konsantrasyonları ...	33
2.9	Sabit Plakalı Filtre Presler İçin Tipik Suyunu Alma Verileri	37
2.10	Bant Filtre Preslere Ait Verim Dataları	41
2.11	Santrifüjde Ekipman ve İşletme Değişkenleri .	44
2.12	"Solid-Bowl" Santrifüje Ait Verim Dataları ..	45
2.13	Nihai Kullanım Amaçlarına Göre Sistemlerin Uygunluğu	46
2.14	Avrupa'da Kullanılan Çamur Suyunu Alma Sistemleri	47
2.15	Değişik Suyunu Alma Sistemlerinin Bazı Önemli Karakteristikleri	48
2.16	Çamur Yaşı ile Özgül Direnç İlişkileri	74
5.1	Çamur Konsantrasyonları İçin Optimum Karıştırma Koşulları	114
5.2	Bir No.lu Aktif Çamur Setinin Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi (18.9 kg/m ³).	119
5.3	İki No.lu Aktif Çamur Setinin Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi (30 kg/m ³) ..	119
5.4	Üç No.lu Aktif Çamur Setinin Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi (40 kg/m ³) ..	120
5.5	Çamur Konsantrasyonlarına Bağlı Olarak Bulunan Sıkışabilirlik İndeksleri	121
5.6	Bazı Çamur Türlerine Ait Sıkışabilirlik İndeksi Değerleri	122
5.7	Farklı Konsantrasyonlardaki Aktif Çamur PFT'lerinin Basınçla Değişimi	124
5.8	Farklı Konsantrasyonlardaki Aktif Çamur SRF'lerinin Basınçla Değişimi	126

<u>Tablo No.</u>		<u>Sayfa</u>
5.9	Sıkışabilirlik Katsayısının Çamur Konsant- rasyonlarına Bağlı Değişimi	127
5.10	Farklı Aktif Çamur Örneklerinde Kek Katı Konsantrasyonlarının Basınçla Değişimi	131
5.11	Değişik Basınçlar Altında Elde Edilen Sıkışa- bilirlik İndeksleri ile Nihai Çamur Konsant- rasyonları	132

SEMBOLLER

A	: Filtrasyon Alanı (m ²)
b	: t/V-V ekseninde elde edilen doğrunun eğimi (sn/cm ⁶)
c	: Birim filtrasyon alanı başına biriken katı madde kütlesi (kg/m ²)
C ₀	: Besleme çamur konsantrasyonu (kg/m ³)
CST	: Kapiler emme süresi (sn)
Cu	: Nihai kek konsantrasyonu (kg/m ³)
Ca	: Kek katı konsantrasyonu (kg/m ³)
D	: Tamamlama oranı
h ₀	: İlk çamur yüksekliği (mm)
h _a	: Son çamur yüksekliği (mm)
G	: Yerçekimi ivmesi (m/sn ²)
K	: Kek mobilite sayısı
k ₁ , k ₂	: Orantı sabitleri
L	: Kek kalınlığı (m)
n	: Sıkışabilirlik indeksi
P _c	: Kek üzerinde meydana gelen basınç farkı (N/m ²)
PFT	: Basınç filtrasyon süresi (sn)
P _m	: Filtrasyon malzemesi üzerinde meydana gelen basınç farkı (N/m ²)
P _T , P	: Toplam basınç farkı (N/m ²)
q	: Süzüntü hızı (m/sn)
r, SRF	: Özgül direnç (Tm/kg)
R _m	: Ortam direnci (m ⁻¹)
s	: Sıkışabilirlik katsayısı
SS, AKM	: Askıda katı madde (kg/m ³)
S _s	: Çamur özgül ağırlığı
SSVI	: Karıştırılmış çamur hacim indeksi
SVI	: Çamur hacim indeksi
t	: Zaman (sn)
T	: Boyutsuz zaman
V	: Süzüntü hacmi (mL)
V _u	: Nihai süzüntü hacmi (mL)
Y	: Filtre dönüşüm hızı (kg/m ² sn)
w	: Birim süzüntü hacmi başına biriken kuru katı madde kütlesi (kg/m ³)
W	: Plaka genişliği (mm)
WAS	: Atık aktif çamur
μ	: Süzüntü viskozitesi (N sn/m ²)
τ	: Kesme gerilmesi (kg/m ²)
θ _c	: Çamur yaşı (gün)
ξ	: Plastik viskozite

ÖZET

Atıksuların sorumsuzca uzaklaştırılması sonucu ortaya çıkan çevre kirliliği sorunu ve bunun insan sağlığını tehdit eden boyutları, günümüzde kamuoyunu etkileyen en güncel konulardan birisidir. Atıksuların çeşitli arıtım sistemleriyle arıtılması sırasında oluşan organik ve/veya inorganik kökenli çamurların gelişigüzel atılması veya kullanımı ise, çevre kirliliğini daha farklı şekillerde etkilemekte ve bazı özel durumlarda da, insan sağlığı için direkt tehlikeler oluşturabilmektedir.

Ortaya çıkan bu çamurların en uygun sistemlerde arıtılıp, sorunsuz olarak, yine en uygun yöntemlerle uzaklaştırılmaları gereklidir. Bu çamurların arıtılması için gereken yatırım maliyetinin, tüm atıksu arıtma ilk yatırım maliyetinin % 40'ını, işletme maliyetinin ise % 50'sini oluşturduğu düşünülürse, çamur karakterizasyonunun ve buna bağlı en uygun sistem seçiminin önemi daha iyi kavranabilir. Çamur karakterizasyonu ve çamur özelliklerinin bilinmesi ise, sistem seçimi için önemlidir.

Bu çalışma genel olarak, iki ana kısımdan oluşmaktadır. Bunlardan birincisi, atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların türleri, genel özellikleri, suyunu alma teknikleri ve esaslarıyla, temel filtrasyon teorisinin detaylı bir literatür araştırmasıdır.

İngiltere'de Water Research Center tarafından yeni geliştirilen ve henüz bir uygulaması bulunmayan yeni filtrasyon parametresi "Basıncılı Filtrasyon Süresi" (PFT)'nin tanımı ve kapsamı ikinci kısımda verilmektedir. Ayrıca aktif çamur besleme konsantrasyonunun, filtrasyon özelliklerine etkisinin incelendiği, bir uygulaması da bu kısımda sunulmaktadır.

Birinci bölümde, çalışmanın amacı ile anlam ve önemi vurgulanmıştır.

İkinci bölümde, çamur suyunu alma tekniklerinin tanıtımı, özellikleri ve filtrasyon teorisi, literatür derlemeleri şeklinde verilmiştir.

Üçüncü bölümde, yeni geliştirilen PFT parametresinin teorik alt yapısı belirlenmiştir.

Dördüncü bölümde, ilk defa ülkemizde yapılan bir çalışma olması nedeniyle, bundan sonraki araştırmalar için, kullanılan aygıt özellikleri ve deney yöntemleri, maddeler halinde detaylı olarak sunulmuştur.

Beşinci bölümde, aktif çamur farklı besleme konsantrasyonlarının suyunu alma özelliklerine etkisi, PFT parametresi bazında, deneysel olarak incelenmiştir.

Altıncı bölümde ise, yapılan deneysel çalışmanın sonuçları, maddeler halinde, değerlendirilmiştir.

SUMMARY

The treatment of municipal wastewater results in the formation of slurries high in suspended solids. These slurries, commonly referred to as sludges, are produced either by the concentration of solids originally in the wastewater (such as raw primary sludge) or the formation of new suspended solids as the result of removing dissolved solids from the wastewater (such as activated sludge). At times these sludges can be disposed of into the environment without further treatment. For example, the spraying of waste activated sludge or sludges from fruit canning plants into forests is a well established practice and has a net beneficial impact on the environment since these sludges are readily assimilated into the forest ecosystem and cause no detrimental perturbations.

Too often, however, it is not feasible, either environmentally or economically, to dispose of such sludges directly into the environment or to use them for other beneficial purposes. Raw sludge, for example, is odiferous, full of large solids and pathogenic organisms and can seldom be discharged onto land without some prior treatment. For many municipal sludges, treatment may involve the removal of some of the liquid to make it more economically transportable, destruction of pathogenic organisms which might cause public health problems, reduction of the nuisance conditions, especially problems with odor, removal of other unwanted constituents.

Before such treatment can be considered and prior any considerations of ultimate disposal alternatives, sludges must be characterized according to the properties of importance and the quantities of sludges to be handled must be approximated or measured.

In this thesis, the sludge dewatering techniques were investigated in two general parts. In the first part, general characteristics of sludges, sludge dewatering techniques and principal filtration parameters were studied as a detailed literature survey. The second part of this thesis is an experimental application of a new filtration parameter called "Pressure Filtration Time" (PFT) at the different concentrations of an activated sludge sample.

In the first chapter, the scope and the importance of this study have been defined.

In the second chapter, a detailed literature survey concerning to the sludge characteristics and the dewatering systems was given.

The main aims of the sludge treatment are one of the following:

- to render the sludge less offensive and reduce any potential hazard to health,
- to convert the sludge to a form more suitable for final disposal,
- to reduce the volume of sludge and hence the cost of transportation.

Municipal wastewater treatment plant sludges are most readily characterized by their source such as primary sludge or waste activated sludge. According to the type, the physical properties and the general composition of the sludge can be changed in variety. As physical properties, the specific gravity, the rheological and settling characteristics, solids concentration, particle size, distribution of water of sludges should be known, prior to the dewatering unit to get a high performance from the system.

The sludge characterization is also essential for a rationale approach for a dewatering system selection.

The dewatering step prior to the ultimate sludge disposal is essential for an economic solution. The principal role of dewatering is to transform a dilute water slurry into a moist cake form for either direct final disposal or for drying as a final product. In selecting a dewatering system, an item of real concern is the choice of the final or ultimate disposal method for the sludge. Indeed, the available options for final disposal should be known prior to selection of dewatering system. It is essential to know the physical properties of the sludge to obtain a high efficiency from dewatering unit.

In this section, different methods of dewatering were presented with their advantages and disadvantages, general design considerations and with typical performance data. In general, the dewatering techniques are divided in two categories,

- natural methods of sludge dewatering such as sludge drying beds and lagoons,

- mechanical methods of sludge dewatering such as vacuum filtration, pressure filtration, belt press filtration, centrifugation.

The main variables in any dewatering process are:

- Solids concentration and volumetric flow-rate of the feed stream,
- Chemical demand and cost,
- Suspended and dissolved solids concentrations and volumetric flow-rate of the sidestream,
- Solids concentration and volumetric flow-rate of the dewatered sludge.

The standard filtration model for incompressible cakes was reviewed within the classical parameter of dewatering such as specific resistance to filtration (SRF). Also the capillary suction time (CST) and the compressibility of sludges have been defined in order to give the basis of the theory. The modified equations for compressible cakes which are the case of sewage sludges, were given.

Most sewage sludge cakes are highly compressible and the formation of those cakes in a filter press occurs in at three stages:

During the first stage, the filling period, sludge is pumped at low pressure into the press chambers.

During the second stage, cakes grow on the filtration surfaces without restriction and the parabolic shape of the filtration curve (i.e. the relationship between volume of filtrate and time) accords with classical theory.

Following the growth phase, filtration proceeds by increasing the concentration of solids in the cake. During this compression phase, the shape of the filtration curve is exponential instead of parabolic which is the case of the modified filtration theory.

The effects of operational parameters such as mean cell residence time, dissolved oxygen concentration, wastewater composition, etc. on activated sludge dewatering characteristics were presented briefly at the end of second chapter.

The new filtration parameter called "Pressure Filtration Time" (PFT) is measured by a semi-automatic meter which is developed by Water Research Center, Sludge Processing Group in Stevenage.

In the third chapter, the definition and the theoretical background to PFT were described.

The PFT meter is essentially a filter which pressurises a sludge sample above a permeable surface and measures the time for the filtrate passing through the surface to increase from one volume to another. This time defines PFT.

The most pertinent measure of filtrability is the specific resistance to filtration (SRF), a fundamental parameter that can be directly related to the throughput of dewatering plant. In principle, the measurement of SRF is straight forward, but the traditional equipment used for its measurement is laborious to use such that the parameter is rarely measured in practice. Other parameters such as Capillary Suction Time (CST) cannot be related to plant throughput other than by empirical means and is insensitive to changes in filtrability over the practical range.

This thesis describes the new parameter PFT and the meter used for its measurement. PFT is proportional to SRF and such as, can be related to pressing times in filter presses and other dewatering plant. A major use of the meter, therefore, is an operational tool specially in filter press installations for regulating flocculant dose. A more general use for the meter is in the evaluation of flocculants particularly polyelectrolytes. Since measurements are made quickly, a range of polyelectrolytes can be tested to determine the most effective for any particular sludge. Another use for the meter is the production of filter cakes. These can be removed from the meter and analysed to determine, how operational pressure or polyelectrolyte type affect solid concentration.

In the fourth chapter, the experimental study was described. Materials and equipment which are used during the experiments, measurement techniques and calculation methods used were given in details.

At this thesis, the waste activated sludge of Good-Year Tire Factory was examined in order to the experimental programme which was given in the chapter four.

The tests were performed to determine:

- Optimum mixing conditions by means of mixing time and mixer speed for particular sludge and polyelectrolyte type,
- Practicable polyelectrolyte dose,
- The compression index to the consolidation (by centrifuge analyses),
- The dependence of PFT to the different pressures,

- The specific resistance to filtration,
- The compressibility coefficient,
- The effect of pressure on cake solids concentration.

The three different concentrations of the same activated sludge, such as 18.9, 30 and 40 kg/m³, were used to determine the effects of feed sludge concentration on filtrability characteristics in the basis of PFT parameter.

In the fifth chapter, the results of the experimental study were presented with graphics and the accordance of the results to the theory was discussed.

Wherever a sludge is dewatered, whether on a belt, in a press, or in a centrifuge the filtrability of the sludge may be controlled by dosing the optimum amount of polyelectrolyte. If too little polyelectrolyte is added the process does not proceed at a sufficiently high rate, or not at all, and adding too much is a waste.

In accordance with conclusions presented in the chapter six, the range of the practicable optimum polyelectrolyte dose is between 1.59-2.5 kg/t.SS with optimum mixing conditions of 1700 rpm and 2 sec. The high-molecular weight, Zetag 87 polyelectrolyte has a high performance.

The compression index, which was found by centrifugation and the pressure tests is similar and has a value of 4.0.

The compressibility coefficient was found equal to 1.0, indicating the high compressibility of the activated sludge with accordance to the results given in the literature.

One of the most important results of this study is that the compression index and the final cake concentrations are independent from the feed sludge concentrations.

The pressing times in a filter press were found 1 to 4 hours to produce a cake concentration of 320 kg/m³.

BÖLÜM 1 GİRİŞ

Günümüzdeki teknolojik gelişmelere ve endüstrileşmeye paralel olarak ortaya çıkan çevre kirliliği sorunu, giderek güncelleşmekte ve çevre ile insan sağlığını tehdit edici boyutlara ulaşmaktadır. Bu önemli probleme bir çözüm olarak devreye alınan arıtma tesislerinde atık sular arıtılmakta, ancak bu esnada sistemin bünyesinde oluşan, çoğalan ve çamur olarak adlandırılan biyokitlenin sorumsuzca kullanılması ve/veya uzaklaştırılması yeni çevresel sorunlar doğurabilmektedir. Çeşitli arıtma kademelerinden çıkan çamurlar, değişik özellikler göstermektedir. Bu nedenle uygulanan atıksu arıtma yöntemine bağlı olarak ortaya çıkan çamurun özelliklerinin bilinmesi ve bunlara uygun çamur arıtma ve uzaklaştırma sisteminin seçilmesi önem kazanmaktadır. Çamur arıtımından beklenen, arıtma sistemlerinden çıkan çamuru yoğunlaştırmak, gerektiği durumlarda stabilize etmek ve suyunu alma ünitesinden geçirip katı madde konsantrasyonunu arttırarak hacmini azaltmak ve uzaklaştırmada taşıma maliyetini en aza indirmektir. Çamur uzaklaştırma ise, çamurun fiziksel ve kimyasal özelliklerine bağlı olarak seçilen bir yöntemle, çamuru tekrar kullanılabilir hale getirmek ve/veya çevreye zarar veremeyecek şekilde bertaraf edilmesini sağlamaktır. Günümüzde Avrupa'da üretilen çamurun %37'si, ABD'de ise %31'i tarım alanlarında gübre amaçlı kullanılmaktadır [1]. Ekonomik ve yararlı bir uzaklaştırma için, tarım alanlarında kullanma çalışmaları insan, bitki ve hayvan yaşamında minimum risk şartıyla devam etmektedir.

TÜBİTAK MAE Çevre Grubu tarafından yürütülen ve NATO Bilim Komite'sinin "Science for Stability" Bilim Programından destek gören "İzmit Körfezi Çevresinde Atıksu Arıtımından

Kaynaklanan Çamurların Yönetimi" projesi [44] çerçevesinde, İngiltere'de Water Research Center Stevenage Çamur Laboratuvarında yürütülen teknik çalışma yardımıyla, deneysel yöntem ve sistemler oluşturulmuştur.

Bu çalışmada, ilk defa Water Research Center tarafından geliştirilen bir aygıtla, pratik ve seri olarak ölçülebilen basınçlı filtrasyon süresinin (PFT) bir uygulaması yapılmıştır. Literatürde suyunu alma çalışmalarında kullanılan klasik filtrasyon parametresi özgül direnç (SRF) yerine ilk defa uygulanan PFT'ye ait mevcut veri birikimi yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle bu çalışmanın ilk hedefi, klasik filtrasyon teorisinden kaynaklanan ve ampirik ifadelere dayanan PFT parametresinin deneysel sonuçlarının, teoriyle uyumlu olup olmadığının bir kontrolü olmaktadır. Bu amaçla, aynı aktif çamurun üç farklı konsantrasyonunun filtrasyona olan etkileri PFT parametresi bazında incelenmiştir. Evsel arıtım sisteminden kaynaklanan aktif çamur konsantrasyonunun, uygulanan polielektrolit dozuna, konsolidasyon özelliklerine, çamur sıkışabilirliğine ve kek kati oranına olan etkileri yapılan deneyler ile incelenmiş ve sonuçların yorumunda PFT teorisi esas alınmıştır.

Bu tezde ayrıca, çamur suyunu alma çalışmalarında kullanılan sistemlerin ve bunların verimlerine etki eden faktörlerin de detaylı bir literatür araştırması sonucunda verilmesi amaçlanmıştır.

Bundan sonra yapılacak çalışmalarını yönlendirmek amacıyla, deney yöntemleri ve kullanılan aygıt türleri ayrıca detaylı olarak sunulmuştur.

BÖLÜM 2

ÇAMUR SUYUNU ALMA ÇALIŞMALARINA GENEL BAKIŞ

2.1. Çamur Üretimi ve Türleri

2.1.1. Giriş

Atıksu arıtım süreçleri bünyesinde oluşan katı - sıvı karışımları "çamur" olarak tanımlanmaktadır. Arıtım çalışmaları sırasında oluşan sıvı çamurun hacmi, toplam atıksu debisinin %1-2'sini temsil etmekle birlikte, bu çamurların arıtımı ve uzaklaştırımı genel işletme giderlerinin %50'sini kapsamaktadır. Bu nedenle, uygulanan farklı arıtım proseslerinden kaynaklanan değişik çamurların miktarlarının ve özelliklerinin bilinmesi, ileride uygulanacak çamur arıtım sisteminin verimliliği açısından büyük önem taşımaktadır [2].

2.1.2. Çamur Üretimi

Birçok atıksu arıtma sisteminde, askıda katı maddenin (AKM) %60-70'i ile biyokimyasal oksijen ihtiyacının (BOİ) %25-40'ı ilk arıtım kademesinde ön çöktürme tankı bünyesinde giderilir. Geriye kalan BOİ'nin %80'i ise, ikincil biyolojik arıtım kademesinde eşdeğer ağırlıklı biyokitle şeklinde ikinci çöktürme tankında sistemden ayrılır. Bir arıtım sürecinde oluşan toplam çamur miktarının büyük bir oranını, ikincil arıtım kademesi "biyolojik çamurları" kapsamaktadır [1].

2.1.3. Çamur Türleri ve Kaynakları

Genel olarak, atıksu arıtma sistemlerinden kaynaklanan çamurlar,

i) İlk arıtım kademesi primer çamurları,

- ii) İkincil arıtım kademesi sekonder çamurları,
 - iii) İleri arıtım kademesi "tersiyer" çamurları,
- olmak üzere üç grupta toplanabilir [2].

Şekil 2-1'de değişik proseslerden oluşan çamurların akım şeması verilmektedir [1].

Primer ve sekonder çamurların kendi başlarına veya karışımlarına termal arıtım ve/veya havasız çürütme, uygulanmamış hallerine "ham çamur" denilmektedir. Havalı veya havasız koşullarda yapısında değişim yapılan çamurlar ise, "çürütülmüş (digested) çamur" olarak bilinmektedir.

Ayrıca, biyolojik sekonder ile primer çamurların birleşimine "karışım (mixed) çamuru" denilmektedir. Bu iki çamur birlikte ön çöktürme tankında çöktürülürse, oluşan çamur "co-settled çamur" olmaktadır.

Uygulanan biyolojik arıtma sürecine bağlı olarak oluşan biyolojik çamurlara verilen isimler de değişmektedir. Bir aktif çamur sisteminden atılan fazla çamur "atık aktif çamur", bir damlatmalı filtre sonrası oluşan çamur ise "humus" olarak tanımlanmaktadır.

Kimyasal arıtım sonrası yapılan çöktürmeden kaynaklanan çamurlar ise, en genel halleriyle "kimyasal çamur" olarak adlandırılırlar.

Yukarıda tanımları verilen çamurların fiziksel özellikleri ve genel bileşenleri ana hatlarıyla Tablo 2.1'de verilmiştir [1].

Tablo 2.1 Değişik Çamur Türlerinin Özellikleri

PRİMER	ARTIK AKTİF ÇAMUR	HUMUS	KİMYASAL ÇAMUR	ÇÜRÜTÜLMÜŞ
-Gri - siyah	-Gri - koyu kahve	-Kahverengi	-Koyu veya kırmızı	-Siyah - koyu kahve
-Kaygan	-Uçucu	-Uçucu	-Slımy ve jelimsi	
-Keskin kokulu	-Toprak kokulu	-Toprak kokulu	-Kararlı koku	-Hafif toprak kokulu
-İri dane boyutu	-Flok şeklinde	-Floklaşabilen	-Gaz çıkışı	-Flok görünümü
-Kolay çürüyebilir	-Çürüyebilir	-Çürüyebilir	-Artan yoğunluk	
-Kağıt, yağ, deterjan, kırntı plastik	-Floküle katılar ve mikroorganizmalar	-Bakteriyel floklar	Kullanılan kimyasala bağlı	-Bakteri hücreleri ayrılmış katılar
-Aerobik/fakültatif bakteriler türleri	-Protein, yağ, selüloz	-Bakteri		-Az patojen
-SD ₄ indirgeyen oksitleyen bakteriler	-Bakteri	-Protozoa		-Çözünmüş N, P bileşeni
-Patojenler, virüsler	-Protozoa	-Alg		-Çözünmez sülfür ve karbonatlar
-Larvalar, kurtçuklar	-Az patojen	-Küçük, iri kurtçuklar, sinek		
-Organik ve uçucu maddeler	-Filament bakteriler			
-Kun, silt, inorganikler	-İnert artıklar	-Larvalar		
-Yüksek nem	-Yüksek nutrient	-Az patojen		
	-Az metal oranı	-İnert artıklar		
	-Çok yüksek nem	-Yüksek nutrient		
		-Az metal oranı		
		-Çok yüksek nem		

GENEL BİLEŞİMİ

2.2. Çamur Karakteristikleri

2.2.1. Giriş

Atıksuların arıtılmasından kaynaklanan çamurların özellikleri atıksu karakterine, arıtma sisteminin tasarım ve işletilmesine bağlı olarak büyük değişkenlikler göstermektedir. Bu bağımlılık nedeniyle çamurun fiziksel özelliklerini tanımlamaya yardımcı olan temel parametreler geliştirilmiştir. Bu parametrelerin tanımı, çamur arıtım sistemlerinin verimi ve işletilmesi açısından da önem taşımaktadır.

2.2.2. Çamur Özgül Ağırlığı

Bir çamurun özgül ağırlığı, eşit hacimlerdeki çamur ve suyun ağırlıklarının oranı olarak tanımlanmaktadır [4]. Belirli bir sıcaklıktaki hacmi bilinen homojen çamur örneğinin ağırlığının 4°C'da aynı hacimdeki su ağırlığıyla karşılaştırımı sonucunda belirlenmektedir. Birçok çamurun özgül ağırlığı 1.0'e eşittir. Bir başka deyişle, suyun ağırlığına eşit olmaktadır [3].

$$S_s = \frac{\text{Çamur Ağırlığı}}{\text{Eşit Hacimdeki Suyun Ağırlığı}} \dots (2.1)$$

Çamurlarda birden fazla dane olduğu için, özgül ağırlık şu formülle hesaplanmaktadır (Vesilind):

$$\frac{1}{S_s} = \sum_{i=1}^n \left(\frac{W_i}{S_i} \right) \dots (2.2) \text{ burada}$$

S_s = Özgül ağırlık

W_i = Çamur içerisindeki i bileşenin ağırlıkça oranı

S_i = i.ci bileşenin özgül ağırlığı

Çamurların özgül ağırlığı, çamur konsantrasyonu ile lineer

olarak artar. Örneğin, aktif çamurun özgül ağırlığı 1.08 iken kireç çamurlarının 2.75 civarındadır [5].

Çamurların özgül ağırlığı, genelde kabul edilenin dışında 1.0 den büyüktür. Bu nedenle suda çökebilirler. Değişik atıksu arıtma süreçlerinden kaynaklanan çamurların miktarlarıyla özgül ağırlıkları Tablo 2.2'de verilmiştir [5].

Tablo 2.2 Değişik Arıtım Süreçlerinden Kaynaklanan Çamurların Özgül Ağırlıkları ve Miktarları

Arıtma Süreci	Çamur Katıları Özgül Ağırlığı	Çamur Özgül Ağırlığı	Katı madde kg/10 ³ m ³	
			Aralık	Tipik
Ön çöktürme	1.4	1.02	110-170	150
Aktif çamur(atık çamuru)	1.25	1.005	70-100	85
Damlatmalı filtre	1.45	1.025	55-90	70
Uzun havalandırma	1.30	1.015	80-120	100
Havalandırmalı lagün	1.30	1.010	80-120	100
Filtrasyon	1.20	1.005	10-20	15
Alg giderimi	1.20	1.005	10-25	15
Fosfor giderimi için ön çöktürmeye kimyasal ilave				
Düşük kireç dozağı (350-500 mg/L)	1.9	1.04	250-400	300
Yüksek kireç dozağı (800-1600 mg/L)	2.2	1.05	600-1280	800
Askıda çoğalan nitrifikasyon	...	...	...	...
Askıda çoğalan denitrifikasyon	1.20	1.005	10-30	16
Pürüzlü filtreler	1.28	1.020	...	...

2.2.3. Katı Madde Konsantrasyonu

Bir sıvı katı karışımının birim hacimdeki tüm katı maddelerin ağırlığı, toplam katı madde konsantrasyonu olarak adlandırılır. Birimi mg/L'dir. Çamur literatüründe çoğunlukla % olarak da tanımlanmaktadır.

Özgül ağırlığı 1.0'e eşit olan karışımlar için, özgül ağırlık ifadesinden,

$$\%1 \text{ katı madde} = 10 \ 000 \text{ mg/L} = 10 \text{ kg/m}^3$$

olmaktadır.

Çamur içerisindeki toplam katı maddeler, çözünmüş ve askıda katı maddeler olarak ikiye ayrılmaktadır. Bunların her biri de, sabit ve uçucu katı madde olarak sınıflandırılırlar. Özellikle çamur için toplam katı madde, süzölemeyen ve filtre kağıdı üzerinde biriken oran olmaktadır.

Çeşitli atıksu arıtma işlem ve süreçlerinden kaynaklanan çamurların katı madde konsantrasyonları Tablo 2.3'de verilmiştir [5].

2.2.4. Dane Boyutu Dağılımı

Çamur içerisindeki daneler, hem boyut, hem de şekil açısından büyük farklılıklar göstermektedirler. Çamur suyunu alma çalışmaları bakımından önemli bir parametre olan dane boyutunun deneysel olarak belirlenmesi oldukça zordur.

Birbirlerinden epeyce farklı olan çamur danelerinin boyutu, zamana ve uygulanan deneysel işlemlere bağlı olarak da değişmektedir.

Çamuru oluşturan danecik ve yumakların boyutu, suyunu alma ve yoğunlaştırma sistemlerinin verimine önemli derecede etki etmektedir. İyi yumaklaşmış bir çamurda, çamur daneleri birbirleriyle sıkı bir temas halindedirler. Bir flok içerisindeki katı ve su oranlarının bilinmesi, uygulanacak suyunu alma sistemi öncesinde faydalıdır [3].

Bu nedenle Thomas (1964), bir flok için α değerinin kullanımını önermiştir [7].

$$\alpha = \frac{\text{Su Hacmi}}{\text{Çamurdaki Katı Hacmi}} \dots (2.3)$$

Tablo 2.3 Çeşitli Arıtma Birimlerinden Elde Edilen Çamurların Beklenen Konsantrasyonları

Uygulama Süreci	Çamur katı maddeleri konsantrasyonu % kuru madde	
	Aralık	Tipik
<u>Ön Çöktürme Havuzu</u>		
1.Kademe çamur	4-12	5
1.Kad.-Aktif çamur	3-10	4
1.Kad.-Damlatmalı filtre humusu	4-10	5
1.Kad.-P giderilmesi için Fe ilavesi	5-14	7.5
1.Kad.-P giderilmesi için düşük kireç doz.	2-8	4.0
1.Kad.-P giderilmesi için yüksek kireç doz.	4-16	10
<u>Son Çöktürme Havuzu</u>		
Ön çöktürme havuzlu,fazla aktif çamur	0.5-1.5	0.75
Ön çöktürme havuzsuz,fazla aktif çamur	0.75-2.5	1.25
Saf oksijenli aktif çamur,ön çöktürmeli	1.25-3	2
Saf oksijenli aktif çamur,ön çöktürmesiz	1.5-4	2.5
Damlatmalı filtre humus çamuru	1-3	1.5
<u>Yerçekimli Yoğunlaştırıcı</u>		
Sadece birinci çamur	6-12	8
Birinci - Aktif çamur	3-10	4
Birinci - Damlatmalı filtre humusu	4-10	5
<u>Yüzdürmeli Yoğunlaştırıcı</u>		
Sadece aktif çamur	3-6	4
<u>Anaerobik Çürütme Tankı</u>		
Sadece birinci çamur	5-10	7
Birinci - Aktif çamur	2.5-7	3.5
Birinci - Damlatmalı filtre humusu	3-8	4
<u>Aerobik Çamur Çürütme</u>		
Sadece aktif çamur	0.75-2.5	1.25
Aktif çamur - Birinci çamur	1.5-4	2.5
Sadece birinci çamur	2.5-7	3.5

Ancak bu yöntemin ölçümü pratik olarak güçtür.

Uygulanan diğer bir yöntem de, Coulter Sayacı ile dane boyutu dağılımının belirlenmesine dayalıdır [6]. Bu çalışmada çamurun bir elektrolit ile karıştırılıp seyreltilmesi gereklidir. Bu aygıt yardımıyla 30 - 2000 μ

çapındaki danelerin yaratacağı puls ölçülebilmektedir. Tüm danelerin küresel olduğu varsayımıyla, hacim frekansı bazında bir dağılım elde edilebilmektedir.

Çamur danelerinin çapı genellikle 100 μ 'nun altında kalmaktadır. Kolloidal parçacıkların düşük çökme hızları olup, filtrasyon malzemesi üzerinde tıkanmalara yol açabilen özelliktedirler. Ayrıca nötralizasyonları amacıyla yüksek miktarda kimyasal malzemeye olan gereksinimleri, çamur arıtım çalışmaları açısından ortaya çıkan başlıca zorluklardır. Bu nedenle, yukarıda tanımlanan yöntemle elde edilen dağılımın en önemli yararı, kolloidal danelerin diğer daneler içerisindeki yüzdesinin bilinmesine yardımcı olmasıdır.

2.2.5. Çökme Karakteristikleri

Çökme özellikleri, arıtım süreçleri sırasında oluşan çamurların sistemden uzaklaştırılmasının bir ölçütü olarak kullanılır. Esas olarak, spesifik bir çamurun çökme özellikleri ile suyunu alma özellikleri arasında bir ilişki söz konusudur. Çökme özelliği kötü olan çamurların filtrelerde sularının alınmasında da sorunlar olmaktadır [3].

Genel olarak konsantre çamurların çökme hızı, seyreltik çamurlara oranla daha düşüktür. Bunun sonucu olarak, özellikle aktif çamur tesislerinde çamur konsantrasyonu ile çökme hızı, sistem verimliliği açısından düzenli aralıklarla kontrol edilmektedir [8].

Çamur çökmesinin ölçütü olarak "Çamur Hacim İndeksi" (SVI) yaygın olarak kullanılmaktadır [10]. Çamur hacim indeksi, bir litrelik Imhoff konisinde otuz dakika sonunda çöken çamurun birim hacmi (ml/g) olarak tanımlanır. Çamur hacim indeksine etki eden başlıca faktörler, çevre koşulları, çamur yükü, atıksu bileşenleri ve besin maddeleridir.(N,P)

Çamur hacim indeksinin değeri genellikle 40-300 ml/g arasında kalırken, iyi çalışan bir sistem için pratik olarak 150 ml/g'ın altında tutulmaya çalışılır [9].

$$SVI = \frac{\text{ml çamur} \times 1000}{\text{mg/L, AKM}} \dots (2.4) \text{ olarak ifade edilir.}$$

SVI, çökeltim havuzlarının tasarım ve uygulamasında standart bir ölçüm parametresi olarak halen kullanılmaktadır. Ancak son yıllarda yapılan çalışmalarda, SVI'nın aktif çamur fiziksel karakteristiklerinin ancak çok genel bir ölçütü olduğu belirlenmiştir [8].

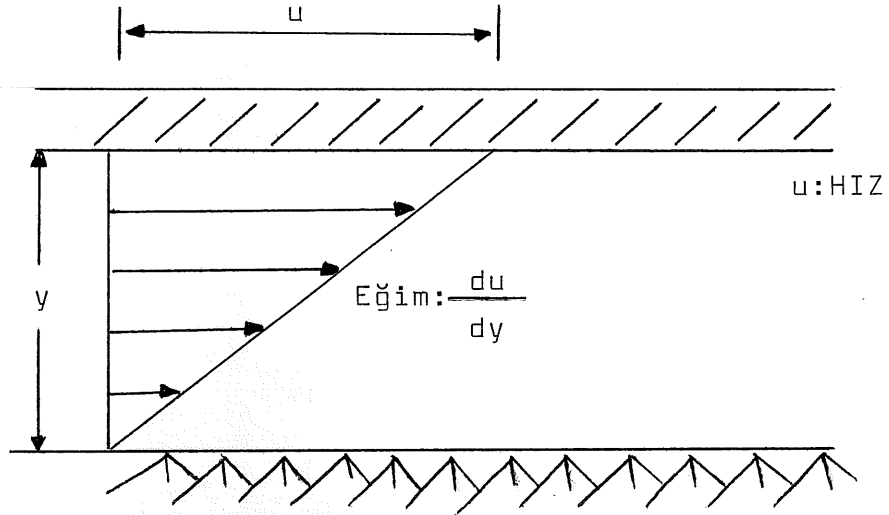
Aktif çamur sistemi uygulamasında SVI parametresi sistemin kontrolü açısından yararlı olduğu halde, çeşitli sistemlerin çökeltme özelliklerini birbiriyle karşılaştırmak ve çökeltim havuzlarını tasarlamakta yetersiz kalmaktadır. Bu nedenle, sistem kontrolünde bile, çökeltme karakteristiklerini tanımlayabilecek alternatif bir parametrenin kullanılmasının daha uygun olacağı öne sürülmüştür [8],[11].

Water Research Center, SVI ölçümlerinin yavaşça karıştırılan bir silindirde yapılmasını önermiş ve bu ölçümlerden elde edilecek yeni parametreyi de "karıştırılmış çamur hacim indeksi" (SSVI) olarak tanımlamıştır.

SSVI parametresi, yavaşça karıştırılan (1dev/dk) bir silindir içinde, 30 dakikalık çökeltim sonucu 1 gr aktif çamurun kapladığı çamur olarak tanımlanabilir. Water Research Center tarafından gerçekleştirilen daha sonraki çalışmalar, askıda katı madde konsantrasyonu 3500 mg/L olan çamurlarda ölçülen SSVI değerinin çamur çökeltmesini tam olarak karakterize ettiğini ve bu hızlı ve basit deneyin, çökeltim havuzlarının tasarımında göz önüne alınan maksimum katı madde yükünün, geri devir çamurunun ve askıda katı madde konsantrasyonunun hesabında kullanılabileceğini göstermektedir [11].

2.2.6. Reolojik Özellikler

Reoloji, bir maddenin sıvı haldeki özelliklerini inceleyen bilim dalı olarak tanımlanabilir. Çamurun reolojik ya da akma özellikleri, pompaj, karıştırma ve kurutma ekipmanlarının tasarımında önem kazanmaktadır. En önemli reolojik ölçüt olan viskozite, belirli bir kayma gerilmesi altında akışkanın yerdeğişim hızıdır [13].



Şekil 2.2 Viskozite Tanımı

Alt ve üst sınırı verilmiş birtabaka içerisindeki sıvının τ kayma gerilmesi etkisiyle gösterdiği hız profili birçok sıvı için lineer olup, şu şekilde ifade edilirler [3].

$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \dots (2.5)$$

τ : Kayma gerilmesi
 $\frac{du}{dy}$: Hız gradyanı
 μ : Viskozite

Burada verilen μ orantı sabiti, viskozite olarak tanımlanır. Kayma gerilmesinin hız gradyanıyla doğru orantılı olduğu bu tür sıvılar, Newtonien sıvılar olarak bilinir.

Bununla beraber birçok sıvı, farklı özellikler göstermektedir. Plastik akışkanların hareketi için, belirli ve sonlu bir kayma gerilmesi uygulamak gereklidir. Bu gerilmeye "akma gerilmesi" denilmektedir. Akma gerilmesi de, önemli reolojik özelliklerdendir.

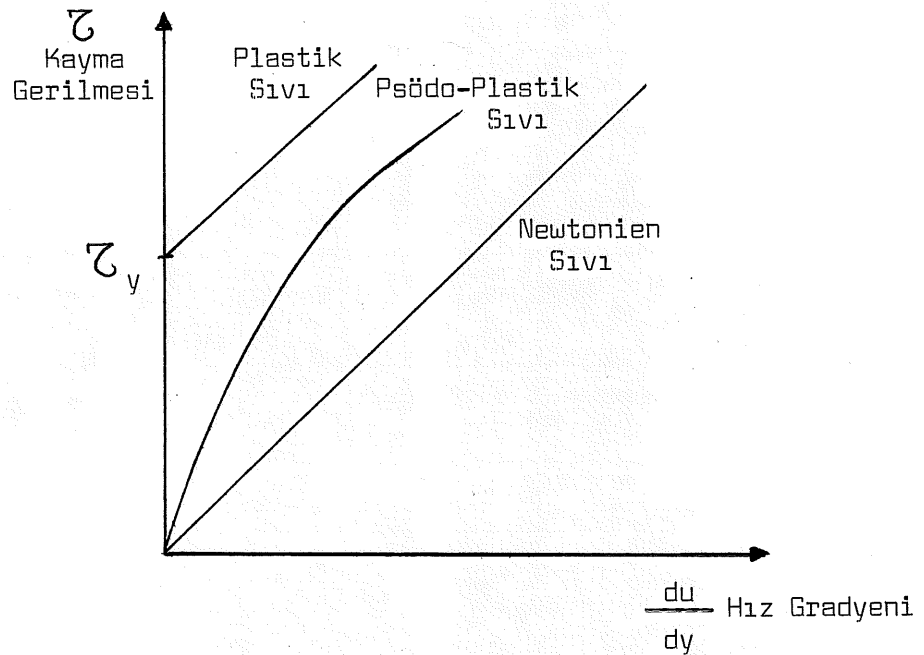
Birçok evsel çamur, yukarıda tanımlanan Newtonien ve plastik akışkan sınıfına girmektedir. Psödo-plastik akışkanlar gurubunda yer alan çamurlar şu bağıntıyla tanımlanırlar:

$$\tau = \tau_y + \eta \frac{du}{dy} \dots\dots (2.6)$$

Burada, τ_y = Akma gerilmesi

η = Plastik viskozite

olarak bilinirler.



Şekil 2.3 Değişik Akışkan Türleri

Değişik çamur türlerine ait reolojik özellikler Tablo 2.4 de verilmiştir [12].

Tablo 2.4 Çamurların Reolojik Özellikleri

Çamur Türü	Sıcaklık (C°)	Katı Konsant. (%)	Akma Gerilmesi (din/cm ²)	Plastik Viskozite [g/(cm).(sec)]	Kaynak
Su	20	0	0	0.01	-
Ham evsel çamur	12	6.7	43	0.28	Babbitt and Caldwell, 1939
Alum çamuru	20	3.27	60	0.06	Gates and McDermott, 1939
Su yumuşatma ve çöktürme çamuru	18	13.6	5.3	0.075	Gregory, 1927
Evsel çürümüş çamur	17	10	15	0.92	Merkel, 1934
	17	12	22	0.98	Merkel, 1934
	17	14	29	1.01	Merkel, 1934
	17	16	43	1.13	Merkel, 1934
	17	18	61	1.16	Merkel, 1934
Aktif çamur A	20	0.4	0.1	0.06	Dick and Ewing, 1967*
Aktif çamur B	20	0.4	0.07	0.05	Dick and Ewing, 1967*
Aktif çamur C	20	0.2	0.2	0.07	Dick and Ewing, 1967*

(*) Yazarın notlarından hesaplanmıştır.

Tablodan da görülebileceği gibi, çamurların reolojik özellikleri sıcaklığa ve katı madde konsantrasyonlarına bağlı olarak değişmektedir. Bu konudaki ölçüm teknolojisinin yetersizliği nedeniyle, eldeki veriler kısıtlıdır. Viskozite ölçümü sırasında çamur özellikleri değişebileceğinden, reolojik özellikler zamana bağlıdır ve

yeni, gelişmiş ölçüm yöntemlerine gereksinim duyulmaktadır. Ancak özellikle, çamur pompalama sistemlerinin tasarımında, çamur Newtonien olmayan psödo - plastik akışkanlar gibi incelenmektedir [14].

Yapılan deneylerde, agregalar üzerine uygulanan kesme kuvveti sonucunda agrega yapısı bozulmakta ve bunların arasında sıkışmış olan su dışarı çıkmaktadır. Uygulanan bu mekanizmayla, agregaların direnci ve yumakların dayanımı anlaşılmakta ve böylece agrega yapısını tamamen dağıtmak için uygulanması gereken minimum kuvvet bulunabilmektedir.

2.2.7. Çamur Suyunun Dağılımı (Distribution of Water)

Kimyasal şartlandırma ve ardından uygulanacak çamur suyunu alma sistemlerinin verimlerini doğrudan etkileyen bir özellik olan çamur suyunun dağılımı, Vesilind'e göre şu şekilde olmaktadır [3]:

- a) Serbest Su (Free Water) : Partiküllerle hiçbir bağlantısı olmayan ve yerçekimi etkisiyle çamurdan kolaylıkla ayrılabilen sudur.
- b) Yumak Suyu (Floc Water) : Yumakların içerisinde tutulan ve onlarla birlikte hareket eden sudur. Bu suyun ancak mekanik suyunu alma sistemleriyle uzaklaştırılması olanaklıdır.
- c) Kapiler Su (Capillary Water) : Bağımsız parçacıklara bağlı olan sudur. Bu suyun alınması, ancak bu parçacıkların sıkıştırılıp bir araya getirilmesiyle olanaklıdır.
- d) Partikül Su (Particle Water) : Bağımsız parçacıklara kimyasal olarak bağlanmış sudur.

Çamur içerisindeki suyun dağılımının bulunması, serbest çökme ve değişken devir hızlarında yapılan santrifüj testleriyle mümkün olmaktadır.

Tipik bir aktif çamurda suyun dağılımı şu şekilde olmaktadır (Vesilind):

	<u>% Hacim</u>
Serbest su	75
Yumak suyu	20
Kapiler su	2
Partikül suyu	2.5
Katılar	<u>0.5</u>
TOPLAM	100

Çamurların suyu tutma kapasiteleri, çamuru oluşturan danelerin yapısına ve şekil almasına bağlıdır. Bu nedenle evsel ya da endüstriyel çamurların yapısındaki farklılıklar, bu çamurların suyu tutma özelliklerini de etkilemektedir [13].

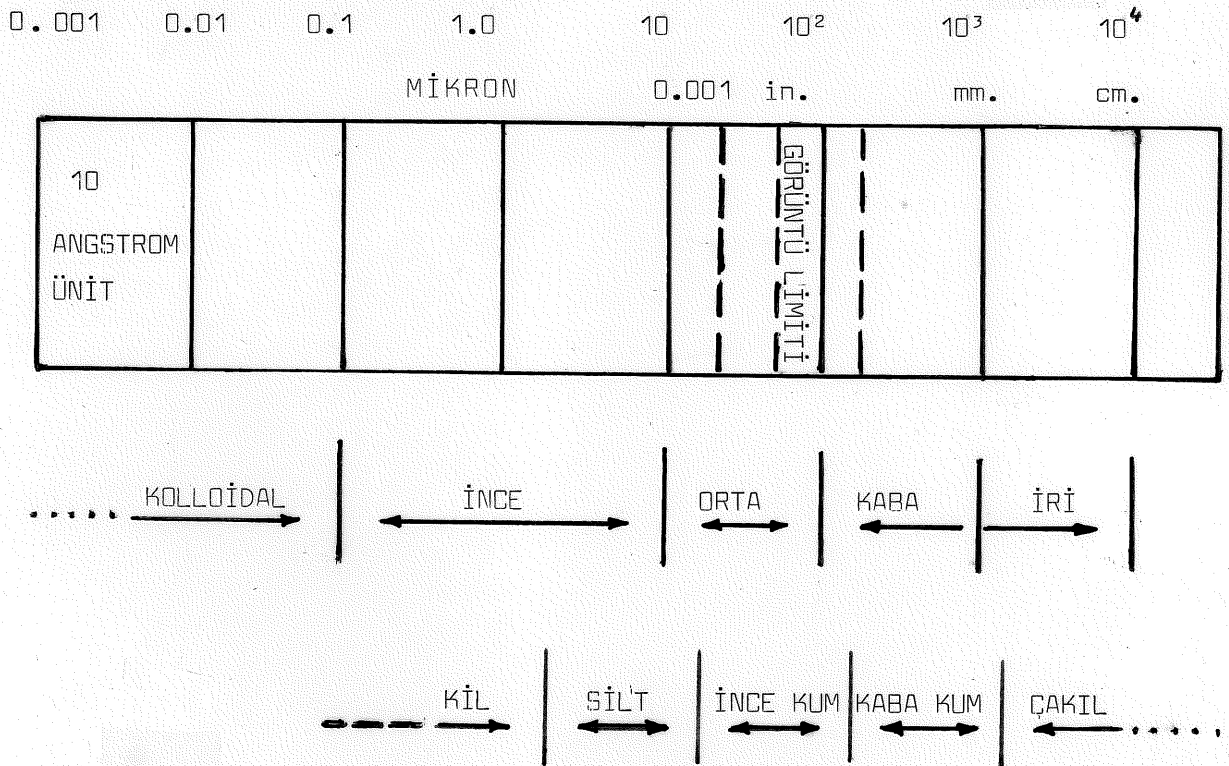
Basit bir mikroskopik incelemeyle, çamur içerisindeki danelerin yapısı hakkında görsel bir fikir edinilebilir. Böyle bir inceleme sonunda, danelerin karışım içinde dağılıp dağılmadığı veya yumakların oluşup oluşmadığı anlaşılmaktadır.

En çok görüldüğü haliyle, mekanik olarak yumaklara bağlı olan su, çamurun suyunun alınmasını zorlaştırmaktadır. Yumakları parçalayarak katı ile sıvı ayrılmasına gidilmesi halinde, partiküllerin kütlesi ve hacmi suyunu alma işlemlerinde önemli rol oynadığından olumsuz sonuçlarla karşılaşmaktadır. Daneleri ortamda dağılmış bir karışımın filtrasyon hızı, iyi yumaklaşmış bir çamura göre çok daha yavaştır. Bu nedenle çamurun su yapısına bağlı olarak, kimyasal şartlandırma yoluyla çamurdaki katıların özgün alanı yapay olarak arttırılmakta ve bunu izleyen filtrasyon aşamasında verim arttırılmaktadır.

2.3. Çamur Şartlandırma

Farklı arıtım kademelerinden kaynaklanan çamurların yoğunlaştırıldıktan sonra, dane boyutlarının büyütülmesi ve mevcut yüklerinin dengelenmesi için, suyunu alma ünitelerine girmeden önce uygulanan kimyasal ve/veya fiziksel yöntemlere çamur şartlandırma denilmektedir.

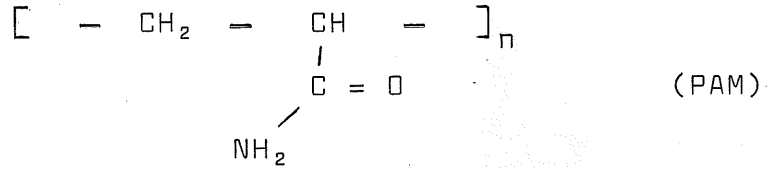
Çamur bünyesi içerisindeki dane boyutları ve dağılımı göz önüne alındığında (Şekil 2.4) [15], dane çapı 10 mikrondan az ince ve kolloidal parçacıkların önemli bir oranda olduğu görülmektedir.



Şekil 2.4 Çeşitli Maddelerin Dane Boyu Dağılımı

En çok kullanılan inorganik kimyasal şartlandırıcılar arasında kireç, demir klorür, demir sülfat ve alum gelir. Özellikle vakum filtrasyonda kullanılan maddelerin başında, demir tuzları (20-63 kg/t SS dozajında) ve yanında kireç (75-277 kg/t SS dozajında) sıralanır.

Son yıllarda büyük aşamalar gösteren polimer kimyasının ürünleri olan polielektrolitler, yaygın olarak büyük bir verimlilikle, bugün özellikle bant filtre ve filtre pres öncesinde kullanılmaktadırlar. Monomerlerin sentezi sonucunda oluşan polielektrolitler, uzun zincirli yapıdadırlar ve suda çözünebilirler. Atıksu çamurlarının şartlandırılmasında en çok kullanılanı poliakrilamid (PAM) molekülüdür.



Sıvıyla karışmış durumdaki çamur partikülleri, genellikle negatif yüktedirler. Bu nedenle, su içinde iyonizasyondan sonra molekülün organik kısmı üzerinde pozitif yük yaratan katyonik polielektrolitler çamur şartlandırılmasında kullanılırlar. Genelde değişik çamur türlerine bağlı olarak uygulanması uygun polielektrolit dozajları aşağıda verilmiştir (Tablo 2.5) [15].

Tablo 2.5 Değişik Çamurlar İçin Tipik Polielektrolit İlaveleri

ÇAMUR	Kg PE/t SS
Ham ön çöktürme çamuru	0.25 - 0.50
Atık aktif çamur	4.0 - 7.5
Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme çamuru	0.75 - 2.0
Ön çöktürme + Damlatmalı filtre çamuru	1.25 - 2.5
Ön çöktürme + Atık aktif çamur	2 - 5
Ön çöktürme + Atık aktif çamur (Saf O ₂)	2 - 4
Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme + Saf O ₂ aktif Ç.	2.5 - 6

İlavesi yapılan kimyasal maddenin iyonizasyonu sonucunda üç mekanizma meydana gelir:

- Çamur danelerinin yükünün nötralizasyonu,
- Dağılmış danelerin floklar halinde toplanması,
- Dış etkenler.

Şartlandırıcı maddenin yük değeri arttıkça, şartlandırma etkisi de eksponansiyel olarak artar. Yüklerin nötralizasyonu ile elektrostatik itme ve Van der Waals çekme kuvvetleri arasında bir denge kurularak bağımsız danelerin yumaklaşması sağlanır. Kolloidal parçacıkların yumaklaşması, kütlelerin artmasına, yüklerin azalmasına ve suyunu alma özelliklerinin iyileşmesine neden olur [3].

Dış etken olarak pH, sürekli kontrol edilmelidir. Zira dağılmış çamur parçacıklarıyla şartlandırıcı maddeler arasındaki iyonizasyon ve absorpsiyon dengesi pH ile yakından ilgilidir. pH aynı zamanda, maddelerin çözünürlüğünü ve polimerlerin kıvrılma derecesini de etkiler.

Bu nedenle, özellikle anaerobik olarak çürütülmüş çamurlarda mutlaka pH ayarlaması yapılmalıdır. Stabilizasyon işlemi (çürütme) sırasında, ham çamur içerisinde bulunan birçok kompleks yapıda azotlu maddeler ayrışarak basit alkalın amonyum tuzlarını oluştururlar; bunun yanı sıra ince daneli askıda katı madde ile bikarbonat alkalinitesinde de büyük artış olur. Bunun sonucunda ortaya çıkacak aşırı kimyasal madde dozajı ihtiyacını engellemek için bir yıkama işlemi yapılır ve bu işlem, elutrasyon olarak tanımlanır. Elutrasyon işleminde, çürütülmüş çamur kendi hacminin 3-5 katı fazlası genel çıkış suyu ile veya ön çöktürme havuzu çıkış suyuyla yıkanır [2]. Üst su çözünmüş organik madde ile yüksek konsantrasyonda askıda katı madde bulunduracağından, sistemin başına devrettirilirken, dipte çöken çamur şartlandırma ünitesine alınır. 4500 mg/L olan bikarbonat alkalinitesi elutrasyon işleminden sonra 2000 mg/L'ye kadar düşebilmektedir.

Elutrasyon işlemleri sırasında, çamur içerisindeki azot uzaklaştırıldığından, eğer kekin tarım arazisinde gübre olarak son kullanımı düşünülüyorsa, bu işlemin uygulanmaması gerektiği literatürde verilmektedir [3].

Çamurun organik bileşenleri de, kimyasal şartlandırmanın verimine etki etmektedir. Protein ve benzeri bazı organik maddeler hidrofilik yapıdadırlar. Bu maddelerin Van der Waals kuvvetleri, ya da çift bağlarla tutulan su moleküllerinin bir veya daha çok tabakasını yüzeylerine bağlama (adsorber) özellikleri vardır. Bunun sonucu olarak yumaklaşma, yumak zincirin dane yüzeyini adsorbe edememesi sonucunda başarısızlığa uğrayabilir.

Fiziksel şartlandırma ise, ısının arttırılarak ya da azaltılarak çamurun fiziksel yapısı üzerinde geri dönüşü mümkün olmayan değişiklikler yapma esasına dayanmaktadır. 160-210°C'de 30 ila 60 dakika arasında ısıtılan çamurun suyunu alma özelliklerinin iyileştiği görülmektedir [16].

2.4. Çamur Suyunu Alma Sistemleri

2.4.1. Giriş

Genel olarak suyunu alma, çamur içerisindeki suyun alınarak % 15'ten fazla katı konsantrasyonu olan kek oluşturma işlemi olarak tanımlanabilir. Suyunu alma çalışmalarının başlıca amaçları [2]:

- a) Nihai uzaklaştırma öncesinde çamur hacmini azaltarak, taşıma ve uzaklaştırma maliyetlerini en aza indirmek.
- b) Çamur kullanımını daha avantajlı hale getirmek. Kurumuş bir çamurun arazide kullanımı, düzenli depolanması veya tarım alanlarında kullanımı sulu çamura göre daha kolay olmaktadır.
- c) Genellikle kurutma işlemi sırasında uygulanan yakma işleminde çamurdaki fazla nemi alarak kalorifik değeri

yüksek bir çamur hazırlamak.

- d) Çamurun arazi doldurmak amacıyla kullanımı düşünülüyor ise, sızıntı suyu tehlikesini azaltmaktır.

19. yüzyıl sonlarında çamur, alttan drenajlı basit lagünlerde kurutulmaya başlanmış, 1920'lere kadar ön çöktürme ve humusun başarılı olarak kurutulabildiği çamur kurutma yatakları ve filtre presler kullanılmış, ancak 1920'li yıllarda filtrelenebilme karakteristikleri diğer çamur türlerine göre daha kötü olan aktif çamurun ortaya çıkmasıyla birlikte yeni sistemler geliştirme gereksinimi ortaya çıkmıştır. Buna bağlı olarak, 1930 sonlarında vakum filtre kullanılmaya başlanmış ve 30 yıl sonra da, bant filtre presi ile kısıtlı kullanımı olan santrifüj ortaya çıkmıştır.

Mekanik kurutma sistemlerinin başarısı, şartlandırma için kullanılan kimyasal maddelerin gelişimine paralel olmuştur. 1960'lara kadar demir tuzlarıyla birlikte kullanılan kireç en popüler kimyasal iken, daha sonra alum ve son 15 yıl içerisinde büyük gelişmeler göstererek adeta mucize sonuçlar veren polielektrolitler, bu alanda mekanik kurutma sistemlerinin verimini arttırmışlardır.

Genel olarak çamur suyunu alma sisteminin seçimi, ekonomik analizlere bağlı olduğu kadar, ortaya çıkan çamurun nihai kullanım amacı ve mevcut uygulanmakta olan arıtım sürecinin türüyle de doğrudan ilgilidir. Örnek olarak, bir arıtım sürecinden kaynaklanan çamurun nihai kullanım amacı belirlenemeyip yakılmaya karar verilmiş ise, bu durumda daha yüksek katı konsantrasyonlu kek üreten filtre pres gibi mekanik kurutma sistemleri düşünülmelidir. Yine çıkan çamurun araziye serilmesi amaçlanmış ise, enerji maliyeti daha düşük olan ve daha sulu bir kek üreten bant filtre pres kullanılabilir. Aşağıdaki tabloda verildiği gibi, uygulanan arıtım prosesine bağlı olarak değişik

karakterlerde çamurlar elde edilmektedir [18].

Tablo 2.6 Değişik Aktif Çamur Proseslerinden Kaynaklanan Atık Çamur Üretimi ve Çamur İşleme Prosesi Verimliliği [18]

Proses	BOI ₅ mg/L	F/M	*WAS/BOI ₅ giderilen kg/kg	Çamur prosesi verimi
Yüksek hızlı	1600-16000	0.4-1.5	1.07	Zayıf
Konvansiyonel	320- 640	0.2-0.4	0.4	İyi
Uzun havalandırma	160- 400	0.05-0.15	0.15	Değişken

(*) WAS Atık aktif çamur

Çoğunlukla, yüksek hızlı ve uzun havalandırmalı aktif çamur proseslerinden kaynaklanan çamurların işlenmesi, konvansiyonel proses çamuruna nazaran daha güç olmaktadır.

Bugün çamur arıtım prosesleri içerisinde önemli yeri olan çamur suyunu alma sistemlerini, iki genel başlık altında sıralamak olasıdır:

- A) Doğal suyunu alma yöntemleri
- B) Mekanik suyunu alma yöntemleri

A) Doğal Suyunu Alma Yöntemleri

2.4.2. Çamur Kurutma Yatakları

Çamur kurutma yatakları, 60 yıldan bu yana en yaygın olarak kullanılan yöntemlerden biridir. Uygun tasarlanıp işletildikleri takdirde, giriş çamur katı konsantrasyonundan fazla etkilenmeden, bazı mekanik suyunu alma sistemlerinden bile fazla kurulukta kek elde etmeye elverişlidirler. Kullanım alanı olarak sıcak iklimi olan yerleşimler ve ufak tesisler öncelikli olarak düşünülse bile, soğuk bölgeler ve büyük tesislerde de başarılı olarak uygulanabilecekleri gösterilmiştir.

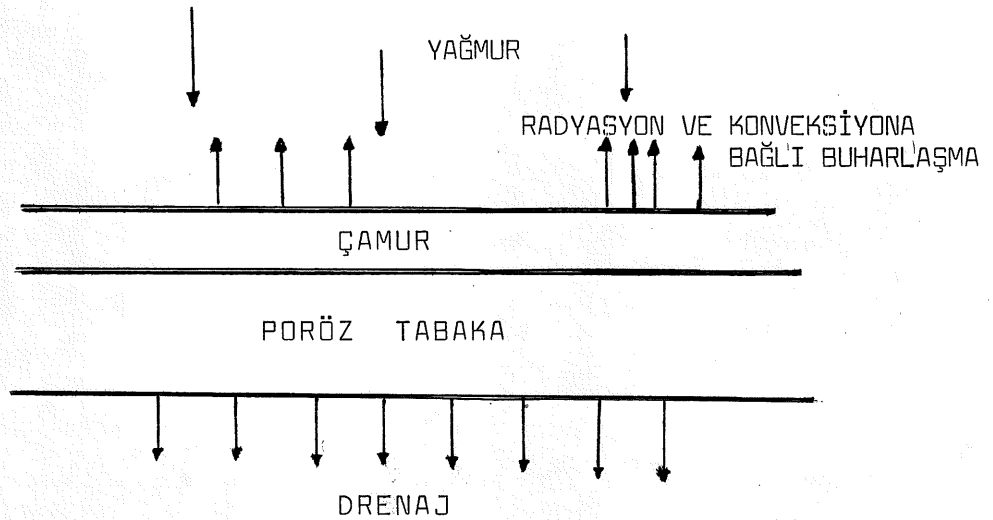
Çamur kurutma yataklarının avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir [17]:

Avantajları:

- 1) Gerekli arazi bulunduğunda en düşük yatırım maliyeti,
- 2) Az miktarda operatör dikkat ve becerisi,
- 3) Düşük enerji tüketimi,
- 4) Değişik çamur türlerinden en az şekilde etkilenim,
- 5) Düşük kimyasal madde gereksinimi,
- 6) Yüksek kek katı madde oranı.

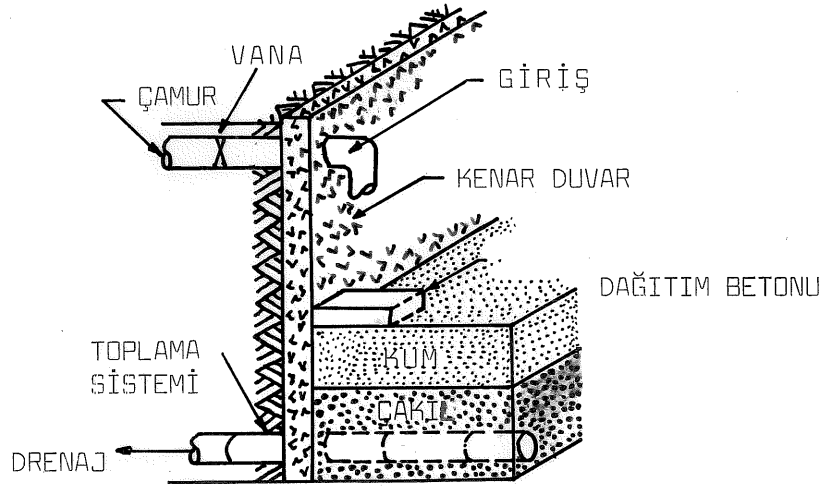
Dezavantajları:

- 1) Rasyonel tasarım yaklaşımı eksikliği,
- 2) Geniş arazi ihtiyacı,
- 3) Çamurun stabilize edildikten sonra kurutma yatağına verilmesi gerekliliği,
- 4) İklimsel etkilerin tasarım üzerine tesiri,
- 5) Estetik bozukluklar,
- 6) Kek uzaklaştırımı için işçi ihtiyacı.



Şekil 2.5 Çamur Kurutma Yataklarının Temel Prensibi

Çamur kurutma yatağı üzerine serilen çamurun suyu, drenaj ve buharlaşma mekanizmalarıyla alınır. Yağışın buharlaşmadan daha çok olduğu bölgelerde, çamur kurutma yataklarının üzeri kapatılarak, yağmur etkisi azaltılabilir. Bu durumdaki arazi ihtiyacı, üzeri açık yataklara oranla % 25-33 daha az olmaktadır [18]. Şekil 2.6'da tipik bir çamur kurutma yatağı görülmektedir.



Şekil 2.6 Çamur Kurutma Yatağı Bileşenleri

Genel olarak, klasik çamur kurutma yataklarında sağlanması istenen şartlar şunlardır [15], [17]:

- Uzunlukları 15-47 m., genişlikleri 4.5-18 m. arasında değişmelidir.
- Alt dren boru çapı 100 mm'den az olmamalı, malzemesi PVC boru veya beton künk olarak seçilmelidir. Dren boruları döşenirken, minimum % 1'lik eğim verilmelidir.
- Çakıl tabakası kalınlığı 200-460 mm arasında olup, dane

boyutu 3-25 mm'dir. İri dane en altta kalacak şekilde dizilmelidir.

- Kum tabakası 200-460 mm arasında olmalıdır. Önerilen minimum derinlik 300 mm'dir. Üniformluk katsayısı 4.0'ün üstünde olmamalı, tercihan 3.5 olmalıdır. Danelerin etkin çapı, 0.3-1.2 mm olarak belirlenmiştir.
- Stabilize edilmiş çamur, genellikle yatak yüzeyinin 20-30 cm üzerinden 25-40 cm derinliğe ulaşınca kadar yatağa beslenmelidir.
- Çamurun kuruma süresi bölgenin iklimine bağlı olarak iki günden bir aya kadar değişebilmekte ve % 30-40 katı oranı olan kek elde edilebilmektedir.

Değişik çamur türleri için üzeri açık kurutma yataklarına ait veriler, Tablo 2.7'de gösterilmiştir [5].

Tablo 2.7 Üzeri Açık Kurutma Yatakları İçin Gerekli Alan Gereksinimleri

Çamur Türü	Alan $m^2 / 10^3$ kişi	Çamur yükleme hızı kg katı/ m^2 yıl
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru	90 - 140	120 - 200
Ön çöktürme - çürütülmüş humus	110 - 160	100 - 160
Ön çöktürme - çürütülmüş aktif çamur	160 - 275	60 - 100
Ön çöktürme - çürütülmüş kimyasal çamur	185 - 230	100 - 160

Çamur kurutma yatakları klasik tasarım dışında, vakumlu (paved bed, wedge - weir) türleri de bazı tesislerde kullanılmaktadır.

2.4.3. Çamur Kurutma Lagünleri

Lagünler, stabilize olmuş, dolayısıyla koku sorunu az olan bir çamurun birkaç yıl bekletme süresi olan doğal bir lagüne pompalandığı ve dipte biriken çamurun zaman zaman uzaklaştırıldığı, dinlenmiş üst tabaka suyunun ise, periyodik olarak arıtma tesislerine gönderildiği bir sistemdir [17].

Ham çamurların derin lagünlerde suyunun alınması, önemli koku sorunları ortaya çıkarmaktadır. Ancak çürütülmüş çamurların sığ lagünlerde kurutulması, literatürden görüldüğü üzere, önemli koku problemi doğurmamaktadır.

Çamur kurutma lagünlerinin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir [17]:

Avantajları:

- 1) Düşük enerji tüketimi,
- 2) Kimyasal tüketim gerektirmemesi,
- 3) Değişik çamur tiplerine karşı üstün tolerans,
- 4) Şok yüklemelere karşı çamur işleme proseslerinde tampon olarak kullanımı,
- 5) Organik maddelerin ikinci bir stabilizasyon kademesine girmesi,
- 6) Düşük ilk yatırım maliyeti,
- 7) Minimum operatör dikkat ve becerisi.

Dezavantajları:

- 1) Zaman zaman kontrolü zor, periyodik kokuların kaynağı,
- 2) Yeraltı ve komşu yüzey sularının kirlenme riski,
- 3) Sinek ve sivrisinek gibi haşarat sorunu,
- 4) Estetik problemi,
- 5) Geniş arazi gereksinimi,
- 6) Rasyonel tasarımın yapılamayışı.

Gerekli arazi ihtiyacı, normal iklimlerde çürümüş ön çöktürme çamurları için $0.1 \text{ m}^2/\text{N}$ olurken, yıllık yağış miktarı 900 mm'ye yakın olan bölgelerdeki aktif çamur sistemleri için $0.3-0.4 \text{ m}^2/\text{N}$ olabilmektedir. Katı yükleme kriterleri ise, $35-38 \text{ kg}/\text{m}^3$ kapasitesindedir [19].

B) Mekanik Suyunu Alma Yöntemleri

2.4.4. Vakum Filtreler:

Vakum filtreler, ilk olarak 1872'de İngiltere'de geliştirilen ve zamanımıza kadar geniş kullanım alanı bulan en eski ve popüler çamur suyunu alma ekipmanlarından biridir. Bir vakum filtrenin genel anlamda bileşenleri, döner silindirik bir tambur, tamburun üstüne kaplanan filtre malzemesi, çamur tankı ve süzüntü ile vakum pompalarıdır.

Vakum filtrasyon sistemlerinin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir [17]:

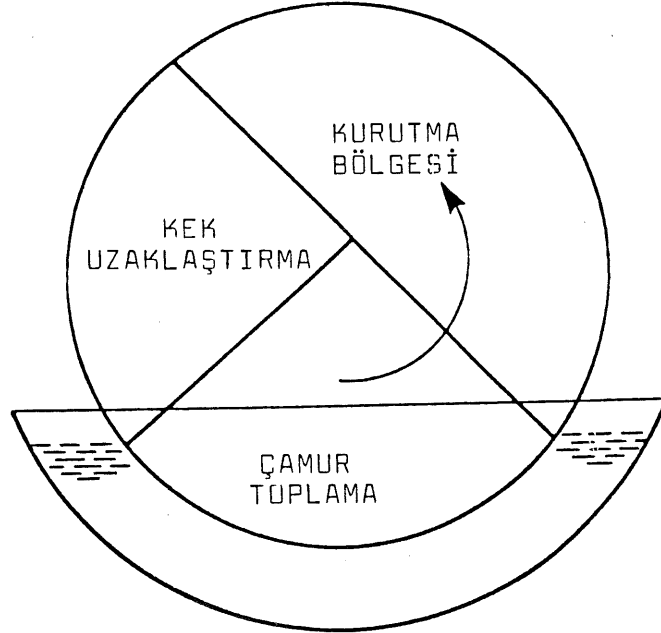
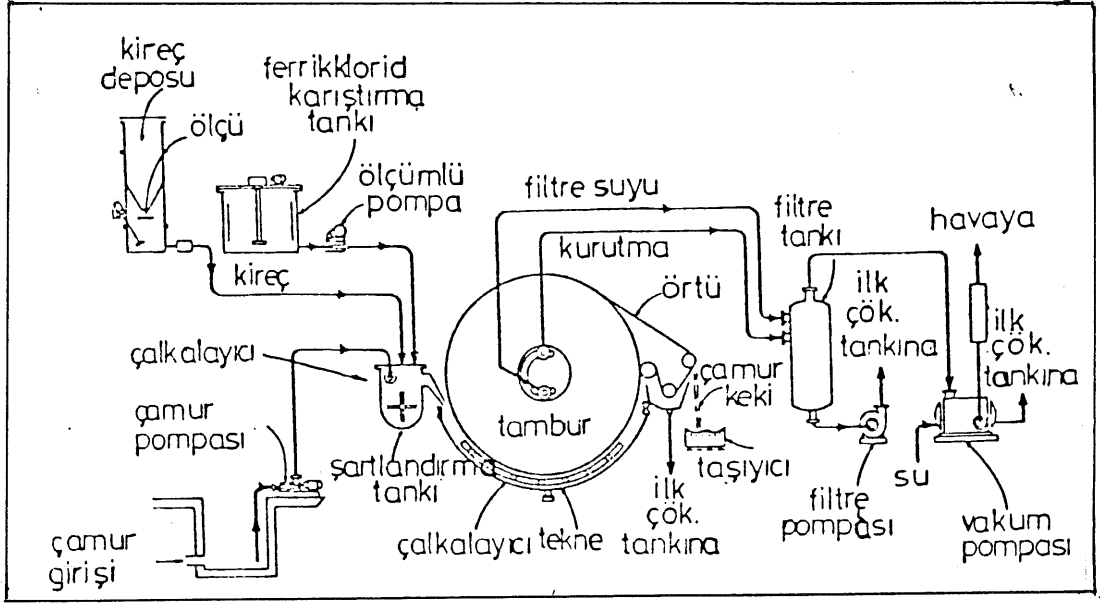
Avantajları:

- 1) Kalifiye eleman gerektirmemesi,
- 2) Devamlı işletme ekipmanları için az bakım ihtiyacı,
- 3) Süzüntüde düşük katı madde konsantrasyonu.

Dezavantajları:

- 1) Yüksek enerji maliyeti,
- 2) Sürekli operatör denetimi,
- 3) Yardımcı ekipman ihtiyacı (vakum, süzüntü pompaları vb.)

Genelde kimyasal olarak şartlandırılmış çamur, çökelme olmaması için uygun bir hızla mekanik veya difüzörle karıştırılan toplama tankına alınır. Daha sonra devreye sokulan tamburların üç ayrı işletme bölgeleri vardır. (Şekil 2.7)



Şekil 2.7 Vakum Filtre Sistemi ve İşletme Bölgeleri

Bunlardan ilki, çamur toplama ya da kek oluşum bölgesi olarak adlandırılır. Vakum pompasıyla tambur içerisinde yaratılan vakum nedeniyle, bu bölgede tank içerisindeki çamur tambur üzerindeki poröz filtrasyon yüzeyine yapışır. Bu bölge, tambur yüzeyinin % 10-40'ını kapsamaktadır.(Optimum % 25-30'u)

Daha sonra tambur hareket ettikçe, filtrasyon malzemesi üzerine vakumla yapışmış olan çamurlar ikinci işletme bölgesine girer. Kurutma bölgesi olarak bilinen bu bölge ise, tambur yüzeyinin %40-60'ını oluşturur. Bu kısımda yüzey üzerindeki çamurun suyu vakum ile alınır. Ortaya çıkan süzüntü suları, tambur içerisinde bulunan süzüntü toplama kanallarıyla toplanarak süzüntü tankına toplanır ve buradan da arıtma tesisinin başına devrettirilirler.

Son işletme bölgesi ise, kek uzaklaştırma bölgesidir. Artık turunu tamamlamak üzere olan tamburun üzerindeki suyu alınmış çamur, bu alanda vakum kapatılarak atmosfer basıncı altında çeşitli ayırıcılar yardımıyla tambur yüzeyinden ayrılarak, konveyörler ile son kullanım alanına iletilir. Yüzeyi tıkanmalara karşı yıkanan tambur, ikinci tura başlamak üzere, tekrar çamur toplamaya başlar. Genel olarak sistemden yüksek katı konsantrasyonu olan kuru kek elde etmek için, kek uzaklaştırma süresinin minimize edilmesi uygun olmaktadır [17].

Sürekli bir işlem olan vakum filtrasyonda, göz önüne alınması gereken değişkenler, işletme ve ekipman değişkenleri olarak iki ayrı grupta toplanmaktadır:

Ekipman Değişkenleri:

- Vakum değeri
- Tambur batma derinliği
- Tambur hızı
- Karıştırma hızı

- Filtre malzemesi türüdür.

İşletme Değişkenleri:

- Çamur özellikleri
- Şartlandırmanın kimyasal tipi ve özellikleridir.

Vakum filtrasyondan iyi verim elde edebilmek için çamur depolama süresinin fazla olmamasına ve iyi bir kimyasal şartlandırma yapılmasına önem gösterilmelidir. Ayrıca operatör, ekipman değişkenlerini sürekli kontrol etmelidir.

Çamur üzerine uygulanan maksimum basınç 38 cm cıva olmalıdır. Bu basınç değerinin üzerinde elde edilen keklerin geçirgenliği azalmaktadır. Bunun en büyük nedeni de, arıtma sistemlerinden kaynaklanan, özellikle evsel çamurların yoğunlukla sıkışabilir olmasıdır.

İşletim sırasında tamburun çamur tankı içerisine batma derinliği fazla olduğu zaman, çamur toplama süresinin artmasına paralel olarak elde edilen kekin kalınlığı da fazla olmaktadır. Ancak kurutma süresi azalacağından kekin nem oranı bu durumda artmaktadır. Batma derinliğinin tam tersine az olması halinde, kek kalınlığı azalmakta, ama kek daha kuru olmaktadır.

Tamburun dönme hızının fazla olması halinde ise, elde edilen dönüşüm (filter yield) artmakla beraber nemli kek oluşmaktadır. Tüm bu değişkenlere ait optimum işletme değerleri, üreticileri tarafından çamurun özelliklerine bağlı olarak verilmektedir.

Vakum filtrasyonun en önemli elemanlarından bir tanesi de, kullanılan filtre malzemesidir. En uygun malzeme, istenilen katı/sıvı ayrımını yapabilirken en berrak

süzüntüyü de verebilmelidir. Kekin malzemeden ayrılması sırasındaki işlemlere ve kimyasallara dayanıklılığı, oluşan süzüntü akımına minimum direnç göstererek uzun ömürlü olması aranılan başlıca özellikleridir. Bugün kullanılan malzemelerin başlıcaları, akrilik suni ipeklili kumaşlar, poliolefinler, polyesterler ve paslanmaz çelik bobinlerdir.

Vakum Filtrasyon Verimi

Genellikle kireç, demir klorür, polielektrolit katkılarıyla uygun olarak şartlandırılmış bir çamurdan % 10-40 arasında katı oranı olan kek elde etmek mümkün olmaktadır [5]. Optimum değer ise, % 25 civarındadır. Süzüntü kalitesi ise, daha değişken olup 100-20 000 mg/L arasında askıda katı madde içerebilmektedir [3].

Vakum filtrasyonun performansını ve tasarımını etkileyen en önemli parametre "filtre dönüşüm hızı"(filter yield) dir. Birim zamanda, birim filtrasyon yüzey alanında tutulan kuru madde miktarı olarak tanımlanmaktadır.

$$Y = \left(\frac{2Pw\theta}{\mu r t_c} \right)^{1/2} \dots (2.7)$$

- Y: Filtre dönüşüm hızı (kg/m².s)
t_c: Tur süresi (s)
θ: Tambur batma oranı
μ: Süzüntünün viskozitesi (PO.s)
P: Basınç farkı (Pa=N/m²)
r: Kek özgül direnci (m/kg)
w: Birim süzüntü hacmi başına biriken kek miktarı (kg/m³)

Evsel çürütülmüş çamurların ortalama filtre dönüşüm hızları 17 kg/m².saat (Vesilind 1974) olmaktadır.

Vakum filtrasyondan elde edilmek istenilen dönüşüme etki eden faktörlerden bir tanesi de, besleme çamuru katı madde konsantrasyonudur. Vakum filtrasyon sistemleri için alt limit olarak; uygun bir kek kalınlığı ve optimum filtre dönüşüm hızı için % 3 katı madde oranı sağlanmalıdır [15]. Literatür araştırmalarında, besleme çamuru katı madde oranı artışının filtre dönüşüm hızını da doğru orantılı olarak arttırdığı görülmektedir [17]. Değişik çamur tiplerine bağlı olarak literatürde verilen vakum filtrasyon dataları Tablo 2.8'de verilmiştir [17].

Tablo 2.8 Çeşitli Çamur Türleri İçin Vakum Filtrasyon Dönüşüm Oranları ve Kek Konsantrasyonları

Çamur	Kek katı madde oranı %	Dönüşüm kg/m ² saat
Ham ön çöktürme çamuru	25-30	24-49
Ham ön çöktürme ve damlatmalı filtre çam.	20-26	15-29
Ham ön çöktürme ve aktif çamur	16-24	10-24
Ham aktif çamur	12-18	5-10
Çürütülmüş ön çöktürme ve damlatmalı filtre ç.	20-28	20-29
Çürütülmüş ön çöktürme ve aktif çamur	18-24	15-24
Termal arıtılmış ön çöktürme çamur	30-50	39-73
Termal arıtılmış ön çöktürme ve aktif çam.	30-50	15-29
Termal arıtılmış aktif çamur	30-50	5-15

2.4.5. Filtre Pres

1800'lü yıllardan itibaren İngiltere'de kullanılmaya başlanan ve daha sonra tüm ülkelere dağılarak yaygın kullanım alanı bulan sistemlerdir.

En çok kullanılanları, sabit hacimli plakalı (fixed-volume recessed plate) ve membran filtre preslerdir.

Genel olarak, filtre preslerin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir [5],[17],[15]:

Avantajları:

- 1) En kuru kek üretimi,
- 2) Berrak süzüntü.

Dezavantajları:

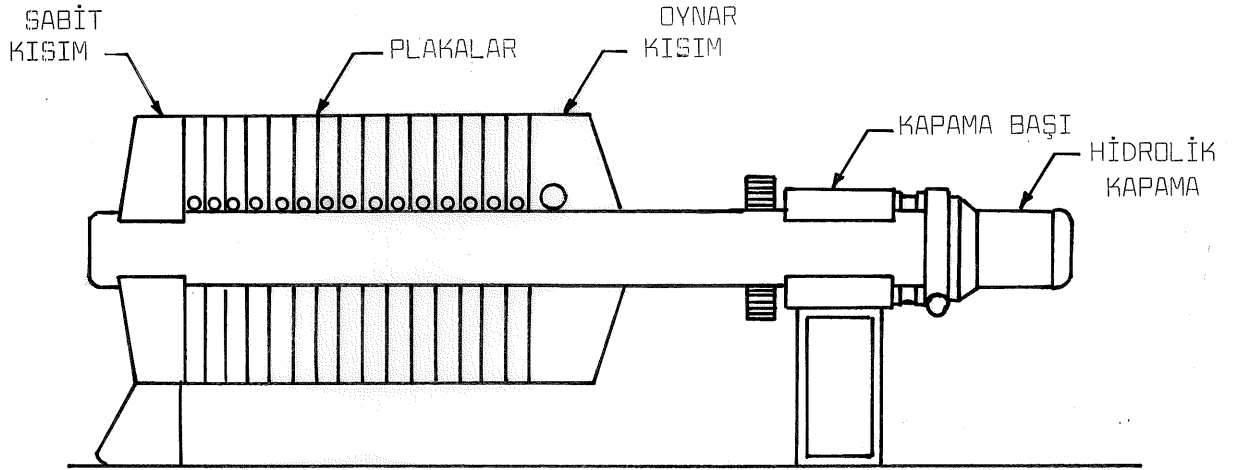
- 1) Kesikli operasyon,
- 2) Yüksek işçilik ve işletme maliyeti,
- 3) Filtre malzemesi ömrünün azlığı,
- 4) Geniş arazi gereksinimi.

Sabit hacimli plakalı bir filtre presin şematik görünümü ile kesiti Şekil 2.8 a ve Şekil 2.8 b'de verilmiştir.

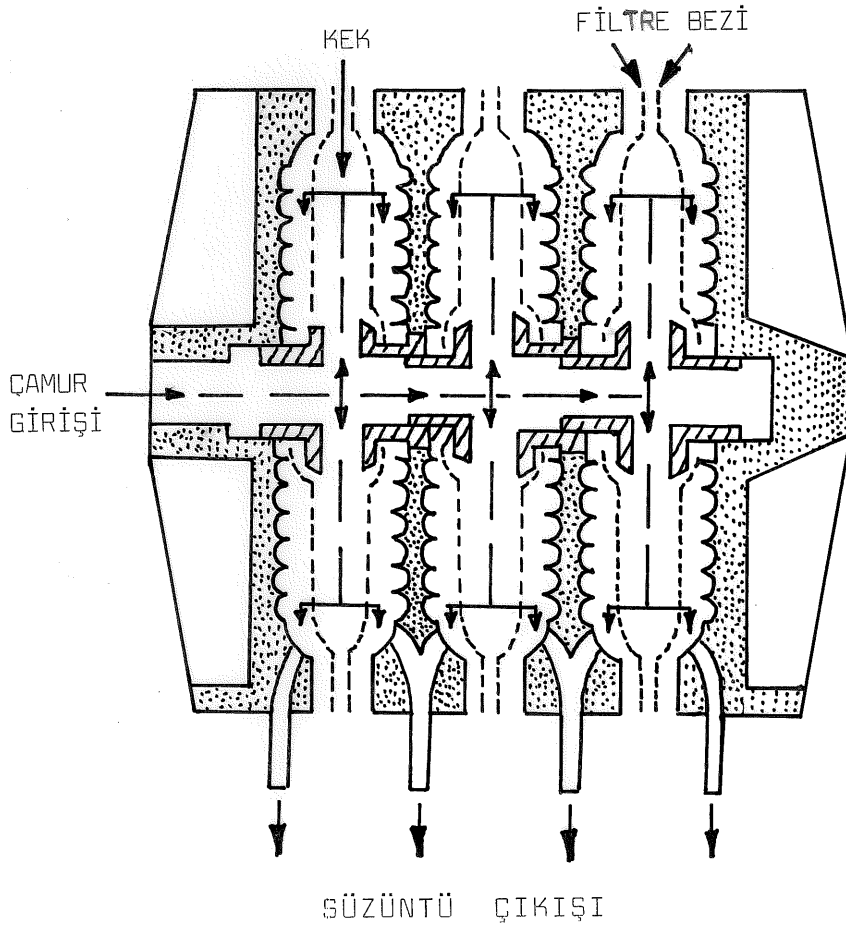
Şekil 2.8 a'da görülen her plakanın iki yüzeyi de, süzüntü akışını sağlayacak şekilde filtre malzemesiyle kaplanır. Uygun kimyasallarla şartlandırılmış çamur 700-1600 KN/m² basınçla plakalar içine pompalanır. Bu arada presteki hareketli baş kapatılarak, plakaların birbirleriyle iyice teması ve sızdırmazlığı sağlanır. Genel mekanizma olarak, plakalara giren çamur içerisindeki sıvılar filtre malzemelerinden geçerek drene olurken, katılar plaka içerisinde birikerek keki oluştururlar.

Bir çamurun filtre presteki filtrasyonu, sürekli olarak sabit hızla devam etmemektedir. Bu aşamalar Bölüm 2.6'da verilmiştir.

Filtre preslerde plakaların dolma süresi 10-20 dakika arasında değişirken, 15-30 dakikalık sabit basınç altında besleme, istenilen konsantrasyonda kek elde etmek için yeterli olmaktadır. Bir sıkıştırma periyodu ise, işlenen çamur miktarına göre 1-4 saat arası değişebilmektedir.



Şekil 2.8 a Filtre Pres Şematik Görünümü



Şekil 2.8 b Sabit Plakalı Filtre Pres Kesiti

Vakum filtrelerde olduğu gibi filtre preslerde de, çamur filtrasyonunu kontrol eden ve filtrasyon hızını etkileyen en önemli parametre "özgül direnç"(SRF) tir. Özellikle basıncın artmasıyla, özgül direnç artarak efektif çamur filtrasyonuna olumsuz etki yapmaktadır. Özgül direnç ile ilgili ayrıntı ilerideki bölümde verilecektir.

Filtre Preslerin Verimi

Tüm çamur suyunu alma sistemleri arasında, filtre presler en kuru keki üreten düzeneklerdir. Elde edilen keklerin katı madde oranları % 35-45 arasındadır. Kek kalınlığı, oda genişliklerine bağlı olarak, 25-40 mm arasındadır. Değişik türdeki çamurların, değişik kimyasallar ile filtre preslerdeki suyunu alma çalışmalarına ait datalar Tablo 2.9'da verilmiştir [17].

Tablodan da görülebileceği gibi, iyi kimyasal şartlandırma yapıldığı takdirde, keklerin katı oranı % 30'un üstünde olmaktadır. Vakum filtrasyonu uygun sonuç vermeyen atık aktif çamurun ön çöktürme çamuruyla birlikte karıştırılarak filtre preste suyunun daha kolay alındığı görülebilmektedir.

Filtre pres verimine etki edebilecek kimyasal şartlandırma, basınç ve besleme çamuru katı madde konsantrasyonuna ait örnek, deneysel çalışma bölümünde verilmiştir.

2.4.6. Bant Filtre Pres

Bu sistemler, 1960'lı yıllarda A.B.D.de geliştirilmiştir. Avrupa'da son 10-15 yıl içerisinde kullanılmaya başlanan yeni bir çamur suyunu alma yöntemidir. Filtre preslerde olduğu gibi, basınç altında suyun alınması ilkesine dayalıdır. Filtre preslere göre bir avantajı da sürekli sistemler olmalarıdır.

Tablo 2.9 Sabit Plakalı Filtre Presler İçin Tipik Suyunu Alma Verileri

Çamur Türü	Oluşum Süresi (dakika)	Şartlandırıcı				Kek Katı Oranı (%)	Besleme Konsant. (%)
		Kireç* (%)	Demir Klorür (%)	Diğerleri (%)			
Ham ön çöktürme çamuru	120	10	5	-	45	5-10 7-10	
Ham ön çöktürme çamuru + %50 WAs**	150	10	5	-	40-45	3-6	
Ham ön çöktürme çamuru + %50 WAs	150	12	6	-	45	1-4	
Ön çöktürme çamuru + Damlatmalı filtre ç.	120	20	6	-	38	5-6	
Ön çöktürme çamuru + Demir klorür(FC)	90	10	-	-	40	4	
Ön çöktürme çamuru + WAs (FC)***	180	10	5	-	45	8	
WAs	150	15	7.5	-	45	5	
Ön çöktürme çamuru + iki kademeli kireç	90	-	-	-	50	7.5	
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru	120	30	6	-	40	8	
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru + WAs	120	10	5	-	45	6-8	
Çürütülmüş ön çöktürme çamuru + WAs(FC)***	180	10	5	-	40	6-8	
Çürütülmüş ön çöktürme çam. + WAs(%50WAs)	120	10	5	-	45	6-10	
Çürütülmüş ön çöktürme çam. + WAs(%50WAs)	150	15	7.5	-	45	1-5	
Ham ön çöktürme çamuru	90	-	-	100(kül)	50	5-10	
Ham ön çöktürme çamuru + WAs (%50 WAs)	120	-	-	150(kül)	50	3-6	
Ham ön çöktürme çamuru + WAs (%50 WAs)	150	-	-	200(kül)	50	1-4	
Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme çamuru + WAs (%50 WAs)	90	-	-	100	50	6-10	
Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme çamuru + WAs (%50 WAs)	90	-	-	200	50	2-6	

* : CaO olarak

** : Atık aktif çamur

***: İkinci çöktürmede koagülant olarak kullanılmıştır.

Bant filtrelerinin avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir [15]:

Avantajları:

- 1) Kuru katı konsantrasyonu yüksek kek eldesi,
- 2) Düşük enerji gereksinimi.

Dezavantajları:

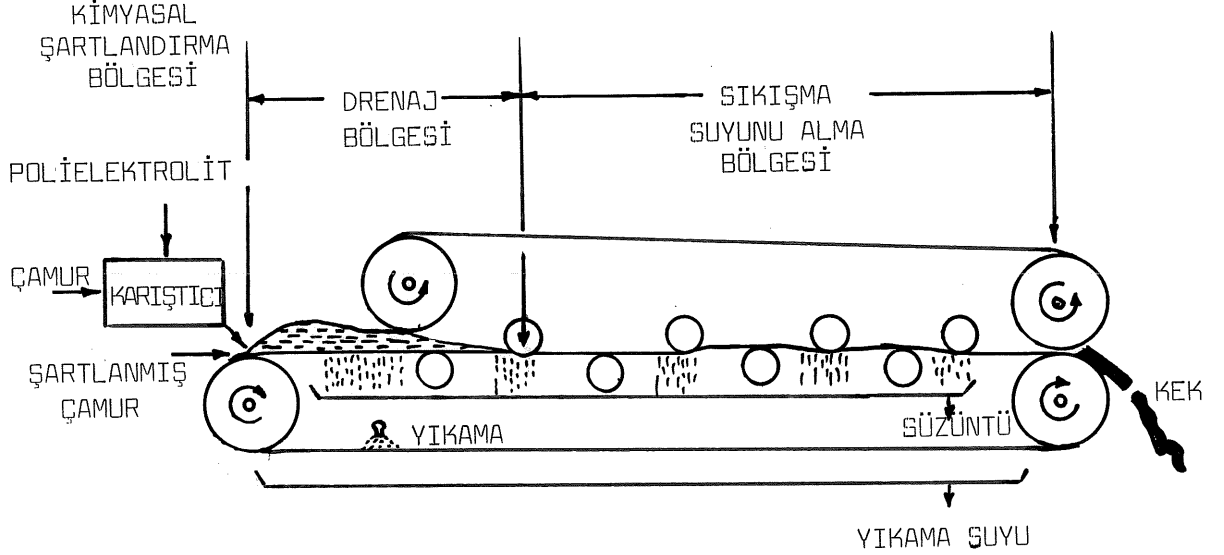
- 1) Besleme çamuru karakteristiklerine karşı fazla duyarlılık,
- 2) Yükleme anında hidrolik bakımdan aletin sınırlılığı,
- 3) Diğer sistemlere göre kullanılan filtre malzemesinin daha kısa ömürlü olmasıdır.

Genel olarak bant filtreler, iki sonsuz banttan meydana gelirler: Üst bant ve çamurun taşındığı alt bant. Bu bantlar bir makara sistemi üzerinde sürekli dönerek işlevlerini sürdürürler. Sıyırma bölgesinde ise, bant üzerinde oluşan kek kurulan düzenek ile sistemden alınır. Bant daha sonra basınçlı su ile yıkanarak tekrar çamur uygulama noktasına dönmektedir.

Şekil 2.9'da şematik görünümü verilen bir bant filtrede üç temel bölge vardır [15]. Bunlar sırasıyla kimyasal şartlandırma, yerçekimiyle drenaj ve sıkışma bölgeleridir.

Şartlandırmadan sonra, bir veya iki dakika içerisinde drene olabilecek sular, hiçbir basınç altında kalmadan yerçekimi etkisiyle serbest drenaj bölgesinde çamurdan ayrılırlar. Bu bölge sonunda çamur hacminde % 50'lik bir azalma olduğu gibi, çamur konsantrasyonu da % 6-10 arasındadır. Üçüncü bölgede ise, taşıyıcı bant ile üst bant arasında kalan çamurun sıkışması söz konusudur. Bu sıkışma taşıyıcı banta vakum uygulayarak da gerçekleştirilebilir. Bu bölgede iki bant arasında sıkışan

çamur değişik yönlerde hareket eden makaraların arasından geçerek büyük miktarda suyunu kaybeder.



Şekil 2.9 Bir Bant Presin Şematik Görünümü

Yeni geliştirilen bazı sistemlerdeyse, sıkışma bölgesini takip eden ve basıncın daha da arttırıldığı kesme bölgesi ilave edilmiştir.

Bant filtre pres işletimine etki eden en önemli faktörler aşağıda verilmiştir [17]:

- Besleme çamuru özellikleri, örneğin fazla yağlı bir çamur bantta tıkanmalara yol açabilir.
- Besleme çamuru katı konsantrasyonu, çamurun filtreye verilmesi için ön bir yoğunlaştırmadan geçmesi daha uygundur.

- c) Çamur yaşı, daha az bekletilmiş taze çamurun kimyasal şartlandırılması, sonuçta suyunun alınması, beklemiş bir çamura oranla daha kolay olacaktır.
- d) Çamur yükleme hızı, bant genişliği sabit olduğundan hiçbir zaman aşırı bir çamur yüklemesi yapılamaz, genel olarak bu değer 3-4 l/m.sn arasındadır.
- e) Bant hızının yüksek olması halinde, genellikle daha nemli kek elde edilmesine rağmen, çamur yükleme hızı artmaktadır. Sonuç olarak düşük hızlarda daha kuru kek, düşük yükleme hızlarında elde edilecektir. Çamur üretim miktarı ve çamurun son kullanım amacına uygun olarak, bu hız ayarlanmalıdır.

Bantlar arası 0.5-2.5 m standart genişliğinde olup, paslanmaz çelik veya gözenekli polyesterden yapılırlar. Çamurun üzerine gelen basınç değeri, makara düzeneğine de bağlı olarak, 35-350 KN/m² arasında değişmektedir.

Bant Filtre Verimi

Yukarıda değinilen tüm işletme şartlarına bağlı olarak bant filtrelerden elde edilebilecek kek katı oranı, % 25-30 arasında değişmektedir. Yapılan çalışmalarda, değişik çamur türlerine bağlı performans dataları Tablo 2.10'da verilmiştir [17].

2.4.7. Santrifüj

Santrifüj, ilk önce 1902 yılında Almanya'da geliştirilmiştir. Daha sonra özellikle A.B.D.'de daha yeni tekniklerde üretilmeye başlanmıştır. Bugün atıksu çamurlarının yoğunlaştırma ve suyunu alma işlemleri için A.B.D.'de yaygın olarak kullanılmaktadır.

Tablo 2.10 Bant Filtre Preslere Ait Verim Dataları

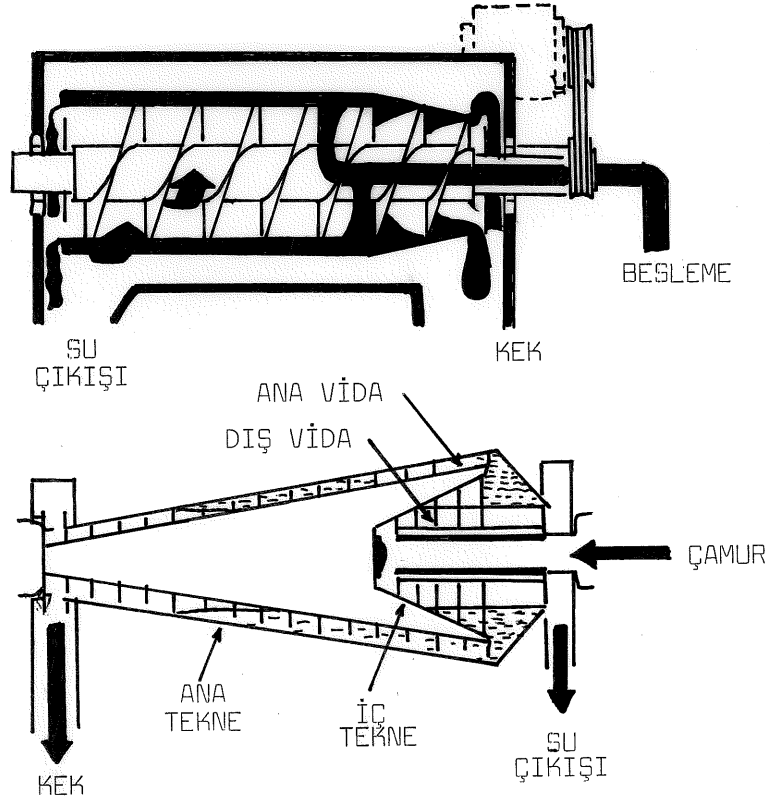
Çamur Türü	Besleme Çamur Konsant. (%)	Birim Bant Genişliğine Gelen Katı Madde Yükleri		Polimer İhtiyacı g/kg	Kek Katı Konsant. (%)
		L/s	kg/saat.m		
Ham ön göktürme çamuru (P)*	3-7	1.9-3.2	360-550	1-4	28-44
Atık aktif çamur (WAS)**	1-4	0.6-2.5	45-180	3-10	12-20
P + WAS (50:50)***	3-6	1.3-3.2	180-320	2-8	20-35
P + WAS (40:60)***	3-6	1.3-3.2	180-320	2-10	20-30
P + Damlatmalı filtre (TF)	3-6	1.3-3.2	180-320	2-8	20-35
Anaerobik çürütülmüş P	3-7	1.9-3.2	360-550	2-5	25-35
WAS	3-4	0.6-2.5	45-135	4-10	12-20
P + WAS	3-6	1.3-3.2	180-320	3-8	20-25
Aerobik çürütülmüş P + WAS (yoğunlaştırılmamış)	1-3	0.6-3.2	135-225	2-8	12-20
P + WAS (50:50) (yoğunlaştırılmış)	4-8	0.6-3.2	135-225	2-8	12-30
Saf O ₂ + WAS	1-3	0.6-2.5	90-180	4-10	15-23
Termal şartlandırılmış P + WAS	4-8	1.9-3.8	270-550	0	25-50

* : Ham ön göktürme çamuru

** : Atık aktif çamur

*** : P ile WAS Oranları katı madde bazında verilmiştir.

Basket ve decanter (solid-bowl) olmak üzere iki türlü santrifüj vardır. Atıksu arıtma tesislerinden kaynaklanan çamurların suyunun alınması işlemlerinde Şekil 2.10'da görülen decanter türü (solid-bowl) santrifüjler kullanılmaktadır [3].



Şekil 2.10 Decanter Santrifüj Şematik Görünüşü

Şekilden de görülebileceği gibi, santrifüj teknesi kase (bowl) biçiminde olup, yüksek hızla dönebilecek özelliğindedir.

Decanter tipi santrifüjün diğer kurutma sistemlerine göre avantajları ve dezavantajları şöyle sıralanabilir [15]:

Avantajları:

- 1) Santrifüjün estetik görünümü, koku yapmama ve kısa sürede açılıp - kapama olanağı getiren sistemi,
- 2) Kolay kurulabilmesi,
- 3) Küçük bir yüzey alanından fazla miktarda kek üretimi,
- 4) Basıncılı filtrasyon sistemleri hariç, en az diğer suyunu alma sistemleri kadar kek üretebilmesi,
- 5) En düşük toplam yatırım maliyeti / kapasite oranı,
- 6) Sürekli operatör dikkati gerektirmemesidir.

Dazavantajları:

- 1) Besleme çamurunu bir kum tutucu veya bir öğütücüden geçirme gerekliliği,
- 2) Kalifiye bakım elemanı gerekliliği,
- 3) Sıyırıcı aşınmasıdır.

Genel olarak teknenin içerisine ortadan beslenen çamur, santrifüj kuvvetinin etkisi altında, tekne çeperine doğru itilir. Daha ağır olan çamur partikülleri, alt tarafta doğru hareket ederken hafif olanlar üstte toplanır. İşlemin başarıyla tamamlanabilmesi için, iç çeperlerde biriken çamurun toplanıp uzaklaştırılması gereklidir. Bunun için de, tekne içerisinde teknedeki biraz daha yavaş hızla dönen sıyırıcı veya vida konveyörler kullanılır. Sıyırıcı hareketiyle çamurlar, eğik bölgeye doğru ilerlerler ve açık kısımdan dışarı alınırlar. Bu arada oluşan süzüntü, kanallardan geçerek santrifüjün diğer ucundan sistemi terk eder.

Santrifüjleme sistemi sırasında göz önüne alınması gereken işletme ve ekipman değişkenleri Tablo 2.11'de gösterilmektedir [17].

Tablo 2.11 Santrifüjde Ekipman ve İşletme Değişkenleri

Ekipman Değişkenleri	İşletme Değişkenleri
Tekne çapı	Bekletme süresi
Tekne uzunluğu	Çamur özellikleri
Tekne dönme hızı	
Sıyırıcı dönme hızı	
Sıyırıcı ayarı	
Tekne açısı	
Çamur besleme noktası	

Bu değişkenler üretici firmalar tarafından istenilen geri kazanma değerleri ve kek konsantrasyonlarına göre, standart hale getirilmişlerdir. Genel olarak büyük tekne çapı ve uzunluğu kek konsantrasyonunu azaltırken, artan tekne hızıyla bu değerler artmaktadır. Günümüzde geliştirilen santrifüjler, düşük dönme hızıyla yüksek katı konsantrasyonlu kek üretebilmektedirler. Böylece yüksek hızdan meydana gelen mekanik arızalar ve artan işletme maliyetleri önlenmektedir.

Santrifüj Sistemlerinin Verimi

Genel olarak 22-1514 L/dak. kapasitesinde çalışan santrifüjler, % 20 kurulukta kek üretebilmektedirler. (Epa design) Berrak bir süzüntü ve uygun bir kek konsantrasyonu için, yerçekimi kuvvetinin 800-3000 katı bir kuvvet uygulamak gerekliliği, literetürde belirtilmektedir. Santrifüjle aktif çamurun suyunun alınması çok güçtür, uygun kimyasal ilavesiyle en fazla % 10'luk bir kek konsantrasyonuna ulaşılabilir [3]. Çeşitli çamurlara ait verim dataları Tablo 2.12'de verilmiştir. [17]

Tablo 2.12 "Solid - Bowl" Santrifüje Ait Verim Dataları

Çamur Türü	Besleme Çamur Konsantrasyonu (%)	Ortalama Kek Katı Konsantrasyonu (%)	Polimer İhtiyacı g / kg Besleme Katısı	Santrat* Katılarına göre Geri Kazanma (%)
Ham ön çöktürme çamuru	5-8 28-36	25-36 0	0.5-2.5 35-45	90-95
Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme çam.	2-5 9-12	28-35 30-35	3-5 0	98 + 65-80
Atık aktif çamur	0.5-3.0 1-3	8-12 8-10	5-8 1.5-3	85-90 90-95
Aerobik çürütülmüş atık aktif çamur	9-14 13-15	35-40 29-35	0 0.5-2	75-85 90-95
Termal şartlandırılmış ön çöktürme çamuru + WAS**	7-10	35-40 30-35	0 1-2	60-70 98 +
Ön çöktürme çamuru + damlatmalı filtre ç.	10-12 4-5	30-50 18-25	0 1.5-3.5	90-95 90-95
Yüksek kireç dozağı	2-4 4-7	15-18 17-21	3.5-5 2-4	90-95 90-95
Ham ön çöktürme çamuru + WAS	1.5-2.5	18-23 14-16	1-2.5 6-8	85-90 85-90
Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme çamuru + WAS + damlatmalı filtre çam.				

* : Santrat = Santrifüj süzöntüsü

** : Atık aktif çamur

2.5. Sistemlerin Genel Olarak Karşılaştırılması ve Avrupa'da Kullanımı

Yukarıda tanıtılan dört temel sistemin dışında, bugün bazı ülkeler tarafından az kullanılan ve gelişmekte olan başka sistemler de vardır. Bunlar elektroozmoz, siklonlar ve ızgaralama gibi sistemlerdir [19]

Tablo 2.13'de çamurun son kullanım amacı göz önüne alındığında kullanılan sistemlerin uygunluğu gösterilmekte, Tablo 2.14'te ise, bugün Avrupa'da kullanılmakta olan sistemlerin dağılımı verilmektedir.

Tablo 2.13 Nihai Kullanım Amaçlarına Göre Sistemlerin Uygunluğu

Suyunu Alma Prosesi	Yakma	Kompost	Tarım Arazisinde Yararlanma	Arazi Doldurma
Basket Santrifüj			x	x
Bowl Santrifüj	x	x*	x	x
Vakum Filtre	x	x*	x	x
Bant Filtre	x	x*	x**	x
Filtre Pres	x	x	x**	x
Kurutma Yatağı		x	x	x
Çamur Lagünleri			x	x

* : Çamurun organik içeriğine bağlıdır.

** : Toprak özellikleri önemlidir. Örneğin , toprak alkali ise, kireçle şartlandırılmış çamurun keki verilmemelidir.

Suyunu alma sistemlerinin genel bir karşılaştırması da, Tablo 2.15'te verilmiştir.

Tablo 2.14 Avrupa'da Kullanılan Çamur Suyunu Alma Sistemleri

Ülke	Kurutma Yatağı	Vakum Filtre	Filtre Pres	Bant Filtre	Santrifüj	Lagün	Diğer	Suyu Alınmayan
Belçika	44	-	48	-	-	-	4	4
Danimarka	14	-	28	14	38	-	1	5
Fransa	44	16	21	3	9	-	1	6
Almanya	15	<1	19	27	8	4	3	23
İrlanda	13	-	-	-	-	-	-	69
İtalya	14	4	24	19	34	-	-	5
Hollanda	*	5	-	*	*	*	<1	87
Finlandiya	3	2	-	38	46	<1	-	11
Norveç	-	-	4	15	58	<1	-	23
İsveç	6	2	-	25	56	-	1	10
İsviçre	1	-	15	2	9	-	-	73
İngiltere	9	2	17	5	2	12	<1	53

* : Geriye kalanın % 7'sini kapsar.

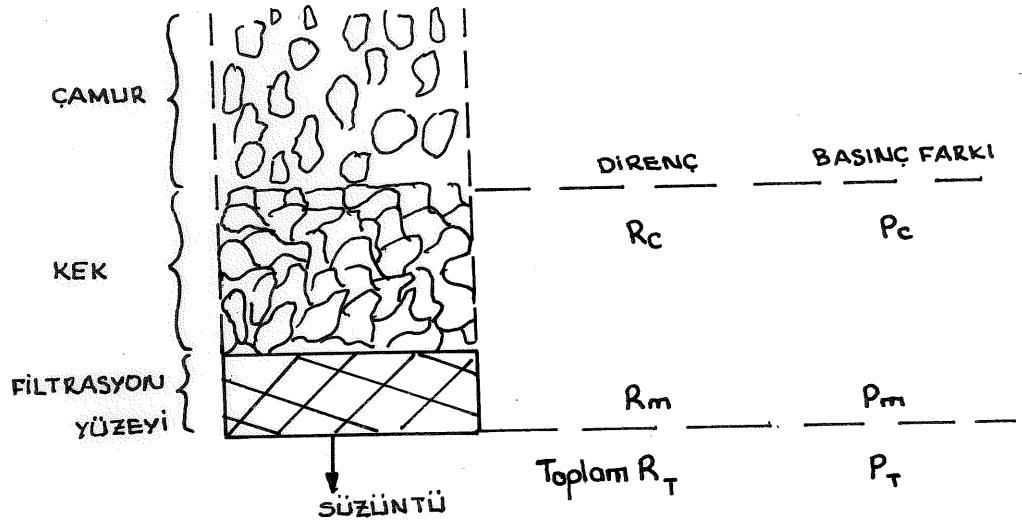
NOT : Değerler % olarak verilmiştir.

Tablo 2.15 Değişik Suyunu alma Proseslerinin Bazı Önemli Karakteristikleri [21]

Proses Özellikleri	Bant Filtre	Vakum Filtre	Filtre Pres	Santrifüj
Kek uzaklaştırma	Sürekli	Sürekli	Sürekli	Sürekli
Temel Mekanizma	Drenaj ve Mekanik Sıkıştırma	Emme	Hidrolik Basing	'g' kuvveti
Filtrenin Fonksiyonu	Destek	Ortam	Ortam	Uygulanmaz
Enerji İhtiyacı	Az	Yüksek	Yüksek	Yüksek
Şartlandırma Kimyasal İhtiyacı	Genellikle Polielektrolit	İnorganik veya Polielektrolit	Genellikle İnorganik	Genellikle Polielektrolit
Bileşenleri	Bant Vakama Pompası	Vakum Pompası	Filtre Bezi Yıkama Pompası	Santrifüj Teknesi
Yerleşim	Kolay kurulur Tek katlı yapı	Normal Çift katlı yapı	Zor kurulur Özel şartlı Çift katlı yapı	Zor kurulur Özel şartlı Tek katlı yapı

2.6. Filtrasyon Teorisine Genel Bakış

Filtrasyon, poröz bir ortam üzerinde bir süspansiyon içerisindeki katıların tutulma işlemi olarak tanımlanabilir. Filtrasyon işleminin fiziksel sistemi şematik olarak Şekil 2.11'de verilmiştir [22].



Şekil 2.11 Filtrasyonun Fiziksel Mekanizması

Yerçekimi, vakum, basınç veya santrifüj ile yaratılan basınç farkıyla, ortamın ve oluşan kekin yarattığı direnç kırılarak filtrasyon işlemi tamamlanır.

Carman (1938) tarafından Darcy Kanunu kabul edilerek, bugünkü "ölgül direnç" modeli veya filtrasyon teorisi geliştirilmiştir [23].

L kalınlılığında rijit, sıkışamayan bir kek için filtrasyon hızı |24|,

$$a) \quad q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{K_1 P_c}{\mu \cdot L} \dots\dots (2.8)$$

$$b) \quad q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{P_m}{\mu \cdot R_m} \dots\dots (2.9) \text{ olarak verilir.}$$

Burada,

q : Süzüntü hızı (m/sn)

K_1 : Permeabilite katsayısı

P_c : Kek üzerinde meydana gelen basınç düşmesi(Pa)

μ : Mutlak viskozite (N.sn/m²)

A : Filtrasyon alanı (m²)

P_m : Filtrasyon malzemesi üzerinde gelen basınç düşmesi (Pa)

R_m : Ortam direnci (/m)

V : Süzüntü hacmi (m³)

L : Kek kalınlılığı (m)

şekilde de görüldüğü gibi, sisteme uygulanan toplam basınç, $P = P_m + P_c$, toplam direnç $R = R_m + R_c$ olmaktadır.

Darcy bağıntısındaki permeabilite bağıntısının tersi alınarak,

$$r_* = 1 / K_1 \dots\dots (2.10) \text{ tanımlanabilir.}$$

Burada,

$R_c = r_* =$ Hidrolik direnç (1/m²) olmaktadır.

(2.10) denklemini (2.8)de yerine koyulup, (2.8) ve (2.9) P. için düzenlenirse,

$$q = \frac{1}{A} \frac{dV}{dt} = \frac{P}{\mu (r_* L + R_m)} \dots\dots (2.11) \text{ halini alır.}$$

Filtrasyon işlemi sırasında, hidrolik direnç sürekli artma eğilimindedir. Bu artış özgül direnç ile birim filtrasyon alanı başına biriken kuru madde kütlesinin çarpımına eşit olacaktır.

$$R_c = r_* = r \cdot c \dots\dots(2.12)$$

SRF = r : Özgül direnç (m/kg)

c : Birim filtrasyon alanı başına biriken katı madde kütlesi (kg/m²)

c'nin filtrasyon sırasında belirlenmesi güç olduğundan, konsantrasyon bazında çalışmanın avantajları vardır.

$$c = w \cdot V \dots\dots (2.13)$$

w : Birim süzüntü hacmi başına biriken katı madde kütlesi (kg/m³)

(2.11) denklemindeki kek kalınlığı (L) ifadesinin dinamik filtrasyon testlerinde belirlenebilmesi olası olmadığından,

$$r_* L = \frac{r \cdot w \cdot V}{A} \dots\dots (2.14) \text{ ifadesi (2.12) ve}$$

(2.13) denklemlerinin yardımıyla kullanılabilir. (2.14) no.lu denklemi (2.11)de yerine koyarak ve düzenleme yaparak,

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P \cdot A^2}{\mu (r w V + R_m A)} \dots\dots (2.15) \text{ elde edilir.}$$

(2.15) no.lu denklem, sıkışamayan çamurlar için genel filtrasyon denklemidir.

Sabit basınç kabulüyle (2.15) no.lu denklemin integrasyonu sonucunda;

$$\frac{t}{V} = \frac{\mu r w}{2P \cdot A^2} V + \frac{R_m}{P \cdot A} \dots\dots (2.16) \text{ elde edilir.}$$

İyi disperse olmuş sistemler ve sıkışamayan malzemeler için geliştirilen filtrasyon teorisinin tersine, biyolojik çamurlar fazlasıyla sıkışabilir partiküllerden meydana gelmektedirler ve aynı zamanda, kısmi flokülasyon durumundadırlar.

Carman ve Gale tarafından da ispatlandığı gibi, filtrasyon süresince basınç hiçbir zaman sabit kalmamakta, sıfırdan P'ye kadar yükselmektedir [24]. Sıkışabilen biyolojik çamurların özgül direnci (r), basınçla doğru orantılı olarak arttığından, bu özgül direnç değeri de filtrasyon süresince değişken kalmaktadır. Sonuç olarak, (2.16) no.lu denklemin sıkışabilir biyolojik çamurlara uygulanabilmesi, bazı modifikasyonlarla mümkün olabilmektedir [25], [24].

Gale'in ortaya atmış olduğu iki görüş, yukarıdaki teoremin sıkışabilen çamurlara da uygulanabilmesini sağlamaktadır. Bunlardan birincisi, birçok karışımın sıkışabilirlik katsayılarınının 1.0'den küçük olması, tam mükemmellikte sıkışamama özellikleridir. İkincisi de, basıncın çok kısa sürede sıfırdan sabit P değerine ulaşması ve bu sürede çok az miktarda bir kekin oluşabilmesidir.

Sonuçta, sıkışabilir maddeler için, kek içerisindeki katı madde konsantrasyonununun değişkenlik gösterdiği geçeğinden hareketle, Gale tarafından "ortalama özgül direnç" (\bar{r}) parametresi tanımlanmıştır. Bu değer, kek boyunca ölçülen değişik özgül direnç değerlerinin

ortalaması olarak alındığından, sıkışabilen çamurlar için sabit bir değer olarak filtrasyon denklemlerinde kullanılabilir [30].

Genel olarak elde edilen denklemlerde, ortam direnci R_m , kek üzerinde oluşan direnç yanında, ihmal edilebilecek düzeydedir [33].

Bu durumda, R_m ihmal edilerek, sıkışabilen çamurlar için ortaya çıkan genel denklem,

$$\frac{t}{V} = \frac{\bar{r}w}{2PA^2} V \dots (2.17) \text{ halini almaktadır.}$$

Buradaki ortalama özgül direnç değeri,

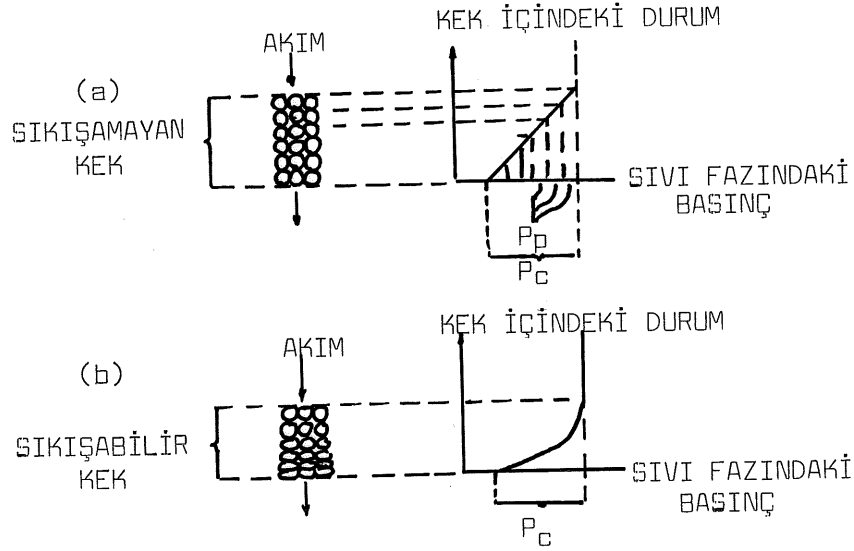
$$\bar{r} = \frac{2A^2P}{\mu w} b \dots (2.18)$$

$$b = \frac{\bar{r}w}{2PA^2} \dots (2.19) \text{ dan hesaplanabilir.}$$

$$\frac{t}{V} = bV \dots (2.20)$$

Klasik parabolik filtrasyon ($t \propto V^2$) eğrisinin denklemi, (2.20) no.lu denklemdir; b ise, $t/V \cdot V$ doğrusunun eğimi olmaktadır.

Sıkışabilen ve sıkışamayan maddelerin denklemlerini anlayabilmek için, kek içerisindeki partiküllere gelen basınç düşmesinin partiküler etkisi Şekil 2.12'de gösterilmektedir [22].



Şekil 2.12 (a) Sıkışamayan ve (b) Sıkışabilir Malzemeler İçin Basınç Düşmesi

Şekilde (a)'da görüldüğü gibi, eşit boyutlu partiküllerin üst üste sıralanmasıyla oluşan sıkışamayan kekin üzerine hiçbir akım uygulanmadığı halde, partiküllerin temas noktasındaki sıkıştırma kuvveti sıfırdır.

Eğer bunların üzerine P_c basınç düşmesi yaratan bir akım uygulanırsa, şekilde görüldüğü gibi, kek üzerinde bir basınç gradyanı oluşacaktır. En üstteki partikül bir P_p basıncı etkisinde kalacak ve bunu alttaki partiküle yansıtacaktır. Bu partikül üsttekinden aldığı kuvvete ek olarak, etrafındaki sıvı basınç farkından doğan eş şiddette bir başka kuvvet tarafından da etkilenecektir. Böylece partiküller arası kuvvet giderek artacaktır. Görüldüğü gibi, madde sıkışamayan özellikte ise, kekin yapısı bozulmayarak basınç gradyanı lineer olacaktır.

Uygulanan kuvvet altında partiküllerin deformasyonu ise, sıkışabilen kek durumunda olmaktadır.

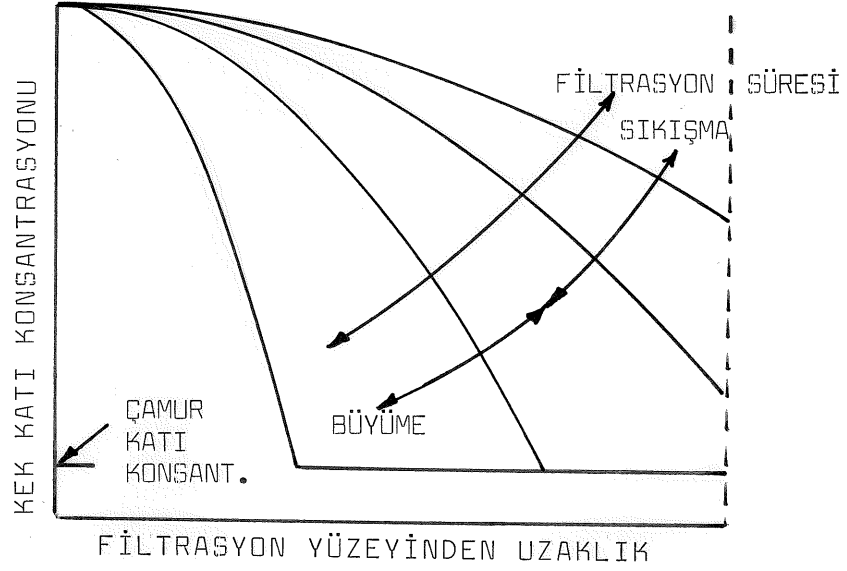
Bu defa en üst tabakada olan partikül en az kuvvete karşı kaldığından, en az deformasyonu yapacaktır. En alttaki partiküller ise, maksimum kuvvetle karşılaştıklarından en büyük deformasyonu yapacaklardır. Partiküllerin sıkışması sonucunda uğradıkları deformasyon, boşlukları azaltarak özgül direncin artmasına neden olacaktır. En çok sıkışmış bölgeler, toplam basınç düşüşünün büyük bir oranını absorplayacaklarından, daha da sıkışacaklardır. Bunun sonucu olarak, kek içerisindeki katı konsantrasyonu, sıkışmanın fazla olduğu bölgelerde daha fazla olacaktır. Bu düşünce, sıkışabilme özellikleri iyi olan biyolojik çamurlar için deneysel olarak doğrulanmıştır [29].

Bugün için evsel arıtım sistemlerinden kaynaklanan çamurların, yüksek oranda sıkışabilir olduğu bilinmektedir. Gale, bir filtre preste sıkışabilen kek oluşumunun üç ayrı aşamada gerçekleştiğini deneysel olarak göstermiştir [26].

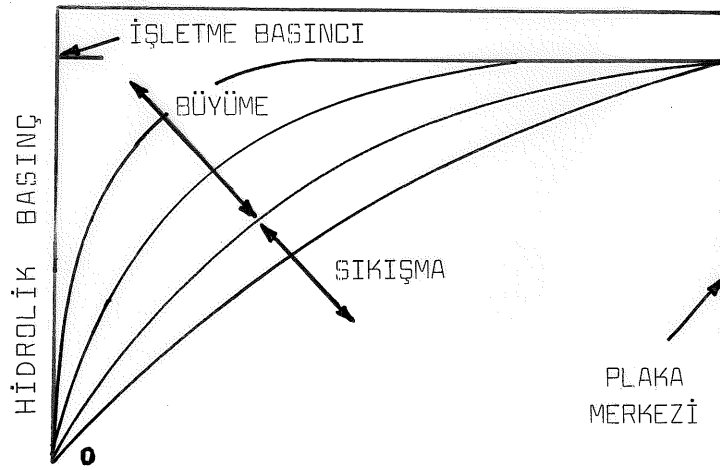
Birinci aşama, aynı zamanda dälma periyodu olarak da adlandırılmakta ve burada çamur düşük basınçta pres plakalarına pompalanmaktadır. Bu periyodun süresi, genellikle besleme pompalarının kapasitesiyle pres plakalarının toplam hacmine bağlıdır. Özellikle yüksek oranda atık aktif çamur içeren ve polielektrolitlerle şartlandırılmış çamurların ani ve hızlı basınçlandırmayla pres içerisine pompalanmalarının, çamur içinde bulunan partiküllerin filtre bezi gözeneklerine yerleşerek tıkanmalara yol açtığı bilindiğinden, pompalama hızı yavaş tutularak bu süre uzatılabilir.

İkinci aşamada kek, filtrasyon yüzeyi üzerindeki büyümesini, hiçbir kısıntıyla karşılaşmaksızın sürdürmekte ve klasik filtrasyon teorisine uygun olarak, filtrasyon eğrisi parabolik formda olmaktadır ($t \propto V^2$).

Bu fazda, beslemenin yapıldığı plaka merkeziyle, filtrasyonun gerçekleştiği yüzey arasındaki çamur konsantrasyonu değişimiyle, hidrolik basınç düşmesi, sıkışma ve büyüme olaylarına bağlı olarak Şekil 2.13 ve Şekil 2.14'te gösterilmiştir [26],[28].



Şekil 2.13 Filtre Plakasında Çamur Konsantrasyonu Değişimi



Not : Sıkışabilen kekler için

Şekil 2.14 Filtre Plakasında Basınç Değişimi

Şekillerden de görülebileceği gibi, kek katı konsantrasyonu filtrasyon yüzeyinde maksimum değerde olurken, besleme noktasına yakın bölgelerde, partiküller üzerine etki eden kuvvetin değeri sıfır olduğundan, katı konsantrasyonu besleme çamuru katı konsantrasyonuna eşittir. Aynı şekilde, plaka merkezinden uzaklaştıkça, hidrolik basınçtaki düşmeler de artmaktadır. Buradan teorik olarak, ikinci aşamada konsantrasyon profilinin şekli, yani kek içerisindeki ortalama katı konsantrasyonunun zamandan bağımsız olduğu, sonucu ortaya çıkmaktadır.

Son aşama olan üçüncü faz, plaka kapasiteleri daha fazla kek büyümesine elvermediği anda başlar. Bu sıkışma fazında, kek içerisindeki ortalama katı konsantrasyonu artar. Ancak burada filtrasyon hızı, klasik teori çerçevesinde umulandan yavaştır ve filtrasyon eğrisinin şekli parabolik yerine eksponansiyel olmaktadır.

Boyutsuz Filtrasyon Eğrisi

V_u ile tanımlanan ve filtrasyonun tamamen sonuçlandığı (pres plakasının tümünün katı, sert kek ile dolması) anındaki süzüntü hacminin denklemlere sokulmasıyla, parabolik denklem,

$$\frac{dD}{dt} = \frac{1}{D} \dots\dots (2.21) \text{ halini alır [28].}$$

$$D = \frac{V}{V_u} \dots\dots (2.22) \text{ ile belirlenen tamam-}$$

lama oranıdır.

$$T = \frac{t^P}{\mu r C_0 V_u^2} \dots\dots (2.23) \text{ olup, } T \text{ nominal}$$

zamanı belirtir.

(2.21)no.lu denklemin integrasyonu sonucu,

$$D = 2 (T - T_0) \dots\dots (2.24) \text{ elde edilir.}$$

Burada T_0 , filtrasyonun başlangıcını belirtmektedir.

(2.24) no.lu denklem düşük D değerlerinde ve büyüme aşamasında olan keklerde geçerlidir.

Sıkışma aşamasındaki eksponansiyel filtrasyon eğrisi denklemini şu şekilde ifade edilir,

$$\frac{dD}{dt} = A (1 - D) \dots \dots \dots (2.25)$$

Burada A , filtrasyon sabitidir. $D = 1$ hali için, filtrasyon hızının sıfıra eşit olacağı görülmektedir ve sonsuz süzüntü hacmi V_u asimptotik değere yaklaşmaktadır.

Büyümeden sıkışma fazına geçiş bölgesinde artık filtrasyon hızı artmayacağından,

$$A (1 - D_t) < \frac{1}{D_t} \dots \dots \dots (2.26) \text{ eşitliği geçerli olacaktır.}$$

D_t , geçiş bölgesindeki tamamlanma oranını göstermektedir.

A ve D_t arasındaki ilişki, bir K parametresi tanımıyla sağlanabilmektedir.

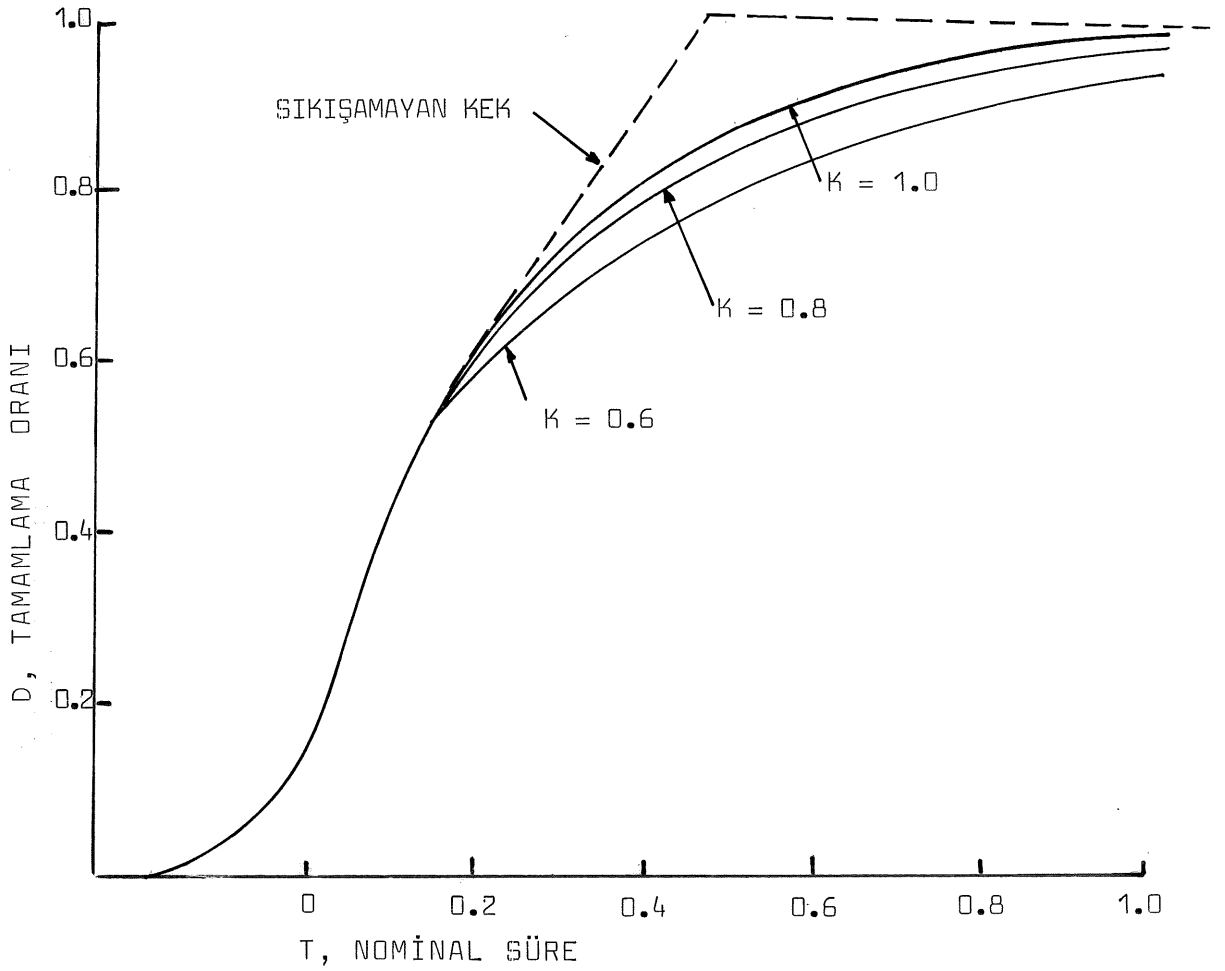
$$A = \frac{K}{D_t(1-D_t)} \dots \dots \dots (2.27)$$

Burada K , kek mobilite sayısı olarak tanımlanır.

D_t değeri genellikle kek sıkışabilirliğine bağlı olup, sıkışamayan bir kek için (1)'e eşittir ve parabolik filtrasyona uygundur.

Yapılan deneysel çalışmalara bağlı olarak, sıkışabilen evsel çamurlar için ($s=1.0$ civarı), D_t değeri 0.5 olmaktadır [26].

Sıkıştırma fazında, pres plakaları girişinde oluşan yumuşak kek, plaka boyunca filtrasyon yüzeyine doğru, hareket etme eğilimindedir. $K = 1.0$ değeri, bu hareketin kolay olacağını bir ifadesidir. Böyle bir durumda, büyümeden sıkıştırma fazlarına geçiş kolay olmaktadır. K 'nın 1.0'den küçük değerleri için, kek hareketi giderek zorlaşmakta ve filtrasyon eğrisinin iki faz arasındaki geçiş bölgesinde, önemli ölçüde eğimi değişmektedir. Deneysel çalışmalar, evsel çamurlarda kek mobilite sayısının 0.5 - 1.0 arasında kaldığını göstermiştir. Tipik değeri 0.8'dir. Şekil 2.15'de, kek mobilite sayısının (K), filtrasyon eğrisine olan etkisi gösterilmektedir [26].



Şekil 2.15 Kek Mobilite Sayısının Sıkıştırma Süresine Olan Etkisi

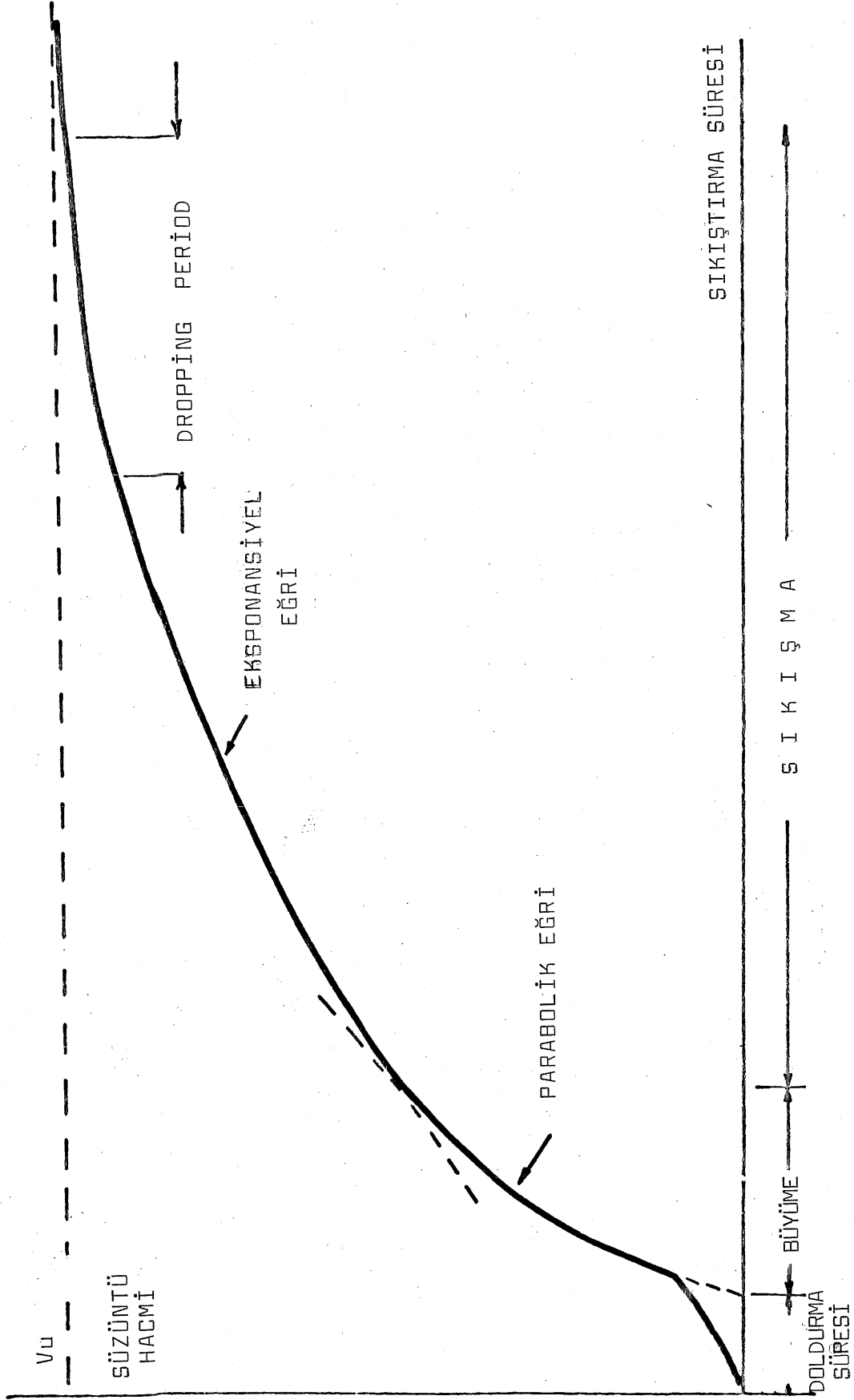
Şekilden görülebileceği gibi, K'nın 1.0'den 0.6'ya değişimi, yüksek D değerlerinin eldesi için iki kat fazla filtrasyon süresine ihtiyaç duymaktadır.

Yukarıda teorisi açıklan bir filtrasyon eğrisi şematik olarak Şekil 2.16'da görülmektedir [27].

2.7. Çamur Suyunu Alma Özelliklerinin Belirlenmesinde Kullanılan Parametreler

Filtrasyona özgül direnç (SRF) ile kapiler emme süresi (CST), çamur suyunun alınabilirliği ölçümlerinde en geniş ve en yaygın olarak kullanılan parametrelerdir. Bu parametrelerin kullanılmasının en önemli nedenlerinden birisi, 1938 yılında Carman tarafından geliştirilen teorik filtrasyon modeline uymalarıdır. Ancak, bu parametrelerin hiç birisi tek başlarına suyunu alma özelliklerini yansıtmamaktadır. En önemli faydaları, bir çamuru diğerlerine göre karşılaştırma imkanı vermesidir. Ayrıca, SRF deneylerindeki yöntem farklılıkları, sonuçlar üzerinde büyük etkiler yaratmaktadır [31].

Bunun yanı sıra, bu çalışmada ilk defa kullanılan suyunu alma özelliklerinin belirlenmesine yarayan yeni parametreler ortaya çıkmaktadır. Basıncılı Filtrasyon Süresi (PFT), WRC Stevenage Laboratuvarında geliştirilen, ölçümü kolay ve klasik filtrasyon parametreleriyle (SRF VE CST) birlikte kullanılacak bir parametredir. Şu ana kadar literatürde bir uygulaması olmayan PFT, henüz geliştirilmekte olan bir parametredir. Bu çalışmada teorik yapısı geliştirilen PFT parametresinin filtrasyon teorisindeki yeri ve diğer parametrelere oranla kolaylığı araştırılmıştır.

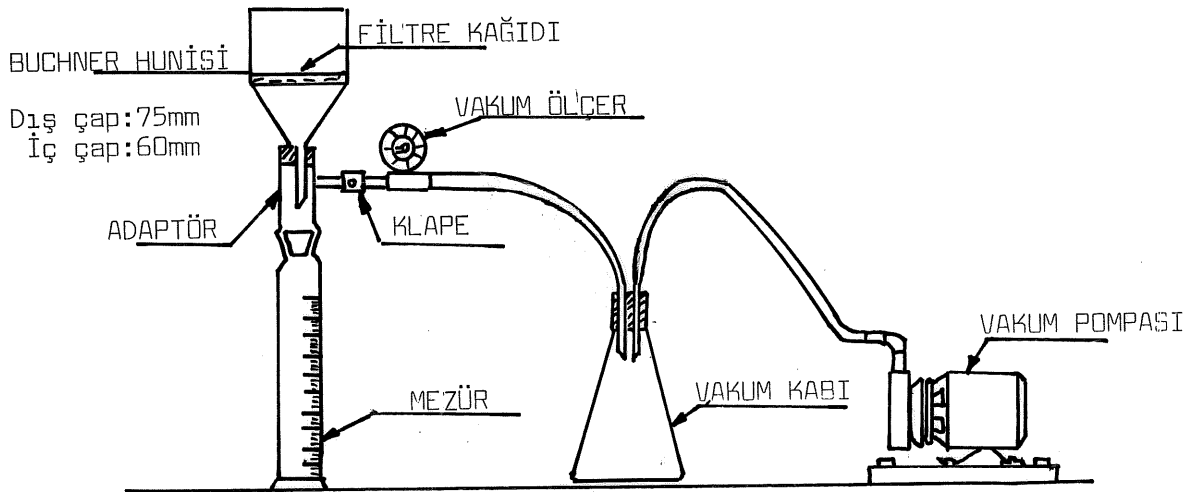


Şekil 2.16 Sıkışabilir Bir Çamur İçin Tipik Filtrasyon Eğrisi

2.7.1. Filtrasyona Özgül Direnç (SRF)

Bugün filtrasyon sistemlerinde kullanılan konvansiyonel parametre (SRF), nümerik olarak birim ağırlıktaki kekten birim viskoziteye sahip olan bir birim süzüntü akım hızı yaratmak için, uygulamak gereken basınç farkına eşittir [17]. Literatürdeki çalışmalara bağlı olarak SRF'nin, özellikle vakumlu ve basınçlı filtrasyon sistemlerinin laboratuvar ölçekte verimlerinin belirlenmesinde, başarılı örnekleri görülmektedir.

Araştırma laboratuvarlarının SRF ölçüm yöntemleri arasında bazı farklılıklar olmasına karşın, bu parametrenin en genel ölçüm yöntemi şöyledir [3], [32], [33].



Şekil 2.17 Buchner Hunisi Aygıtının Şematik Görünümü

Şekil 2.17'deki Buchner hunisi sistemi, SRF ölçümlerinde kullanılmaktadır. Burada suyunu alma özelliği belirlenecek çamur örnekleri, vakum altında süzülmetedir. Buchner hunisinde kullanılan filtre kağıdı, alanı ve boyutu belirlendikten sonra kimyasal olarak şartlandırılmış çamur örnekleri, (genel olarak 50 - 100 ml hacminde) hava kabarcığı oluşmaması amacıyla, suyla huniye yapıştırılan filtre kağıdı üzerine dökülür. Vakum filtrasyonun gerçekleşmesi istenen vakum değeri (genellikle 49 kPa) ayarlanarak, sisteme vakum verilir. Belirli zaman aralıklarıyla, silindir mezür içerisinde toplanan süzüntü hacmi kaydedilir. Bu işleme, filtre kağıdında oluşan kek üzerinde çatlaklar oluşup vakum kırılincaya kadar devam edilir. Özgül direnç (2.18) no.lu denklemden hesaplanır. Bu denklemden yer alan b , $t/V - V$ grafiğinin oluşturulması sonucu elde edilen doğrunun eğimidir.

Hesaplarda genellikle, ilk birkaç dakikada toplanan süzüntü hacmi ihmal edilir [33]. Bunun nedeni ise, Bölüm 2.6.'da anlatıldığı gibi, ortam direnci (R_m) nin, R_c hidrolik direnç yanında değerinin çok küçük olmasıdır. (2.18) no.lu denklemden w 'nun hesaplanması için önerilen üç ayrı yöntem vardır [24]:

- i) Kuru kek ağırlığının elde edilen son süzüntü hacmine bölünmesi,
- ii) Besleme karışım konsantrasyonunun örnek hacmiyle çarpımının, elde edilen son süzüntü hacmine bölünmesi,
- iii) $w = \frac{C_c \cdot C_s}{100(C_c - C_s)}$ (2.28) ifadesinin kullanımı,

Burada C_c kek, C_s ise karışım katı konsantrasyonlarını göstermektedir.

(2.18) no.lu denklem tekrar göz önüne alındığında, özgül direncin bağlı olduğu değişkenler,

- Filtrasyonun oluşturduğu vakum değeri (P),
- Filtrasyon yüzeyi alanı (A),
- Süzüntü viskozitesi (μ),
- Birim süzüntü hacmi başına biriken kuru katı madde kütlesidir (w).

Filtrasyon yüzey alanı, filtrasyon işlemi sırasında sabit tutulmalıdır. Bu da, tek tip bir filtre kağıdı kullanarak sağlanabilir. Bir çamurun SRF'i belirli bir sıcaklıkta elde edilen viskozite değerine bağlı olarak sabittir. Genel olarak ölçümlerde süzüntü viskozitesi saf suyun viskozitesine eşit olmakla beraber, Coakley ve Jones aktif çamur viskozitesini yaklaşık olarak 0.011 poise (1 poise = 0.1 N sn/m²) olarak bulmuşlardır [24].

Besleme çamuru katı konsantrasyonunun SRF üzerine etkisi uzun araştırmalarla incelenmiştir. SRF'in besleme çamurunun katı konsantrasyonundan teorik olarak bağımsız olduğu ortaya çıkmakla beraber, bu konuyla ilgili değişik görüşler ortaya atılmaktadır [24]. Coakley ve Jones çamur konsantrasyonunun % 14'ten % 1'e inmesi halinde, SRF'in iki kere azaldığını bulmuşlardır. Ancak, çamur seyrelmelerinde süzüntü yerine musluk suyu kullanmalarının etkisi düşünülmelidir. Diğer bazı araştırmacılara göre de, SRF azalan çamur konsantrasyonları için artabilmekte, ya da bundan etkilenmemektedir. Glenn ile arkadaşları ve Gates ile McDermott, içme suyu çamurlarıyla çalışarak, SRF'de artan çamur konsantrasyonları için azalma olduğunu bulmuşlardır. Bunun yanı sıra Kavanagh, Saunders ve Medero, deneysel olarak SRF'nin besleme çamuru katı konsantrasyonundan etkilenmediğini göstermişlerdir. Kavanagh stabilize edilmemiş atık aktif çamurda % 0.5-5 katı aralığında,

Saunders ve Medero da alüminyum kaplama sonucu oluşan atık çamurun % 2.5-25 katı oranlarında, SRF'nin sabit kaldığını göstermişlerdir.

Genel olarak ham atıksu çamurlarının özgül direnci 10-100 Tm/kg (Tera T:10¹²), iyi şartlandırılmış çamurların 0.1-1 Tm/kg aralığındadır. Ekonomik çamur filtrasyonu için 1 Tm/kg, kabul edilen limit değerdir [24], [25].

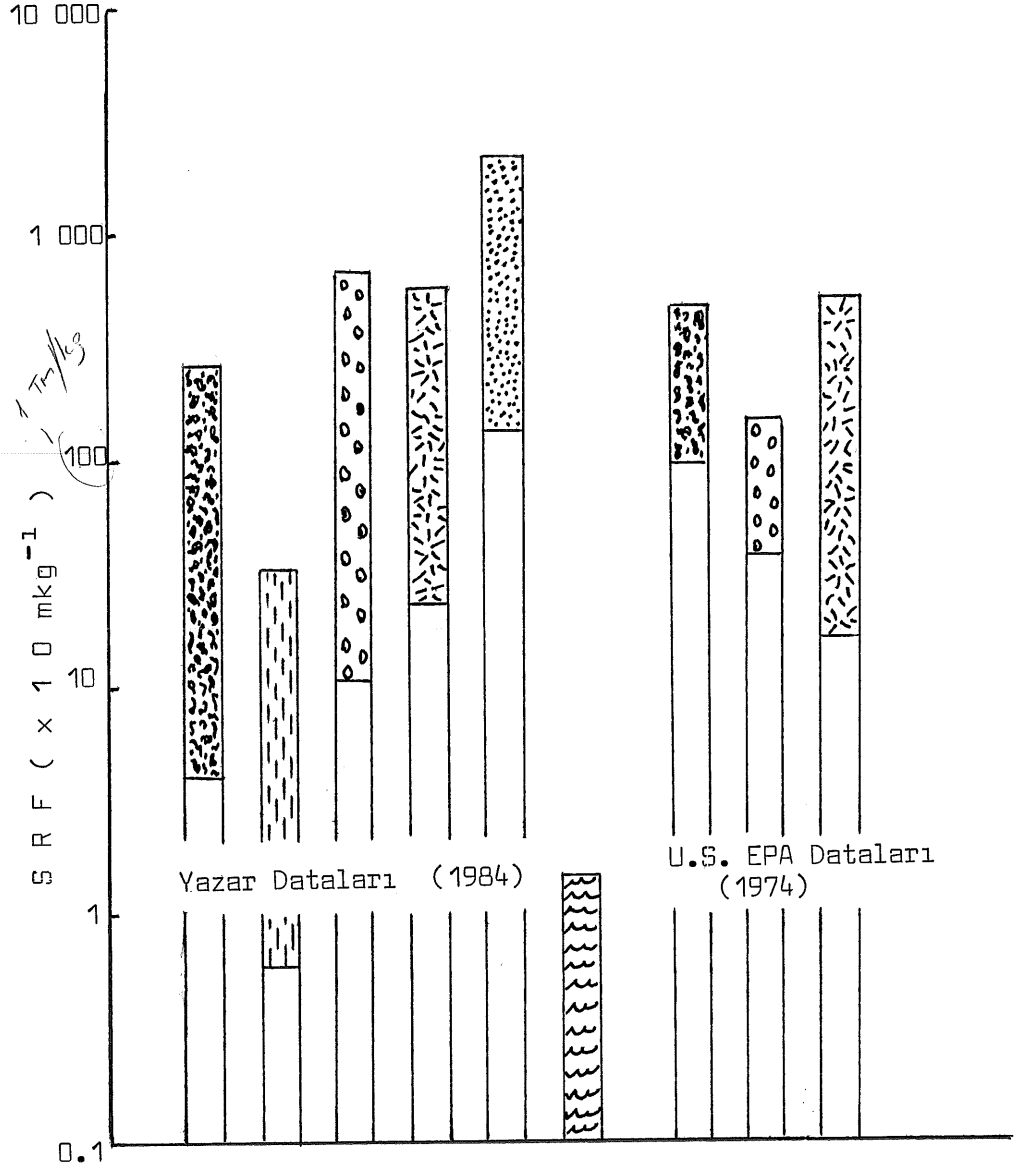
Değişik arıtım kademeleri esnasında, ya da değişik arıtım sistemlerinden çıkan çamurların suyunun alınabilirliğinin laboratuvar ölçekte karşılaştırımını sağlayan bu parametrenin, EPA tarafından verilen tipik değerleri Şekil 2.18'de görülmektedir [34].







Şekilden görülebileceği gibi, anaerobik olarak stabilize edilmiş aktif çamur ile ham çamur karışımı, literatürde en zor suyu alınabilen çamur olarak ortaya çıkmaktadır. Zimpro termal prosesiyle ısıtılarak şartlandırılan çamurun SRF değeri düşük olmakta ve filtrasyon özellikleri iyi bulunmaktadır [34].

2.7.2. Kapiler Emme Süresi (CST)

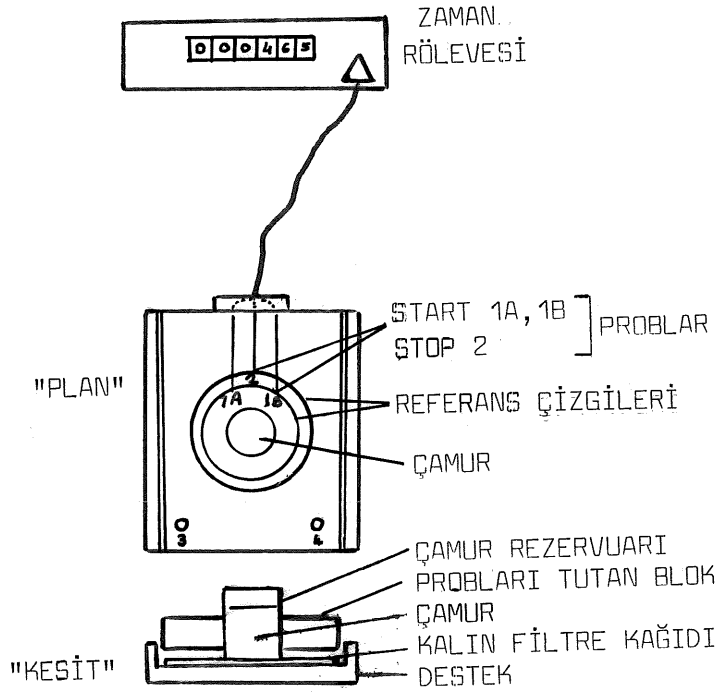
SRF ölçümünün zorluğu ve zaman alıcı olması nedeniyle, Gale ve Baskerville tarafından geliştirilen bir aygıtla Kapiler Emme Süresi (CST) parametresi tanımlanmıştır. Şekil 2.19'da görülen aygıtla ölçümü yapılan bu parametrenin pratik avantajları olmasına karşın, teorik bir yapısı olmadığından ampirik bir test olarak görülmektedir [2], [22].

CST basit olarak, çamur içerisindeki suyun kurutma kağıdı üzerinde 1 cm hareket etmesi için geçen süre, şeklinde tanımlanabilir.



-  Ön çöktürme çamuru
-  Atık aktif çamur (WAS)
-  DAF ile yoğunlaşmış aktif çamur
-  Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme çamuru
-  Anaerobik çürütülmüş ön çöktürme çamuru + WAS
-  Zimpro prosesiyle termal şartlandırılmış çamur

Şekil 2.18 Değişik Çamurlar İçin Üzgöl Direnç (SRF)'nin Değişimi



Şekil 2.19 CST Aygıtı Şematik Görünümü

CST aygıtı, otomatik olarak, kuru filtre kağıdının kapiler emme basıncından kaynaklanan ufak bir süzüntü hacminin çamurdan çekilmesi için, gerekli süreyi ölçmektedir.

CST aygıtı dört parçadan oluşmaktadır [2]:

- 18 mm ya da 10 mm çapında metal silindirik çamur rezervuarı,
- Dikdörtgen (90X70 mm) kuru Whatman No.17 filtre kağıdı,
- İki adet dikdörtgen blok, bu bloklardan üsttekinin ortasında çamur rezervuarının geçebileceği bir boşluk bulunur. Ayrıca kapanınca, filtre kağıdı üzerinde kalan ve su geçirgenliğinin zamanlayıcıyı harekete geçirdiği ve durdurduğu üç elektrik probu,

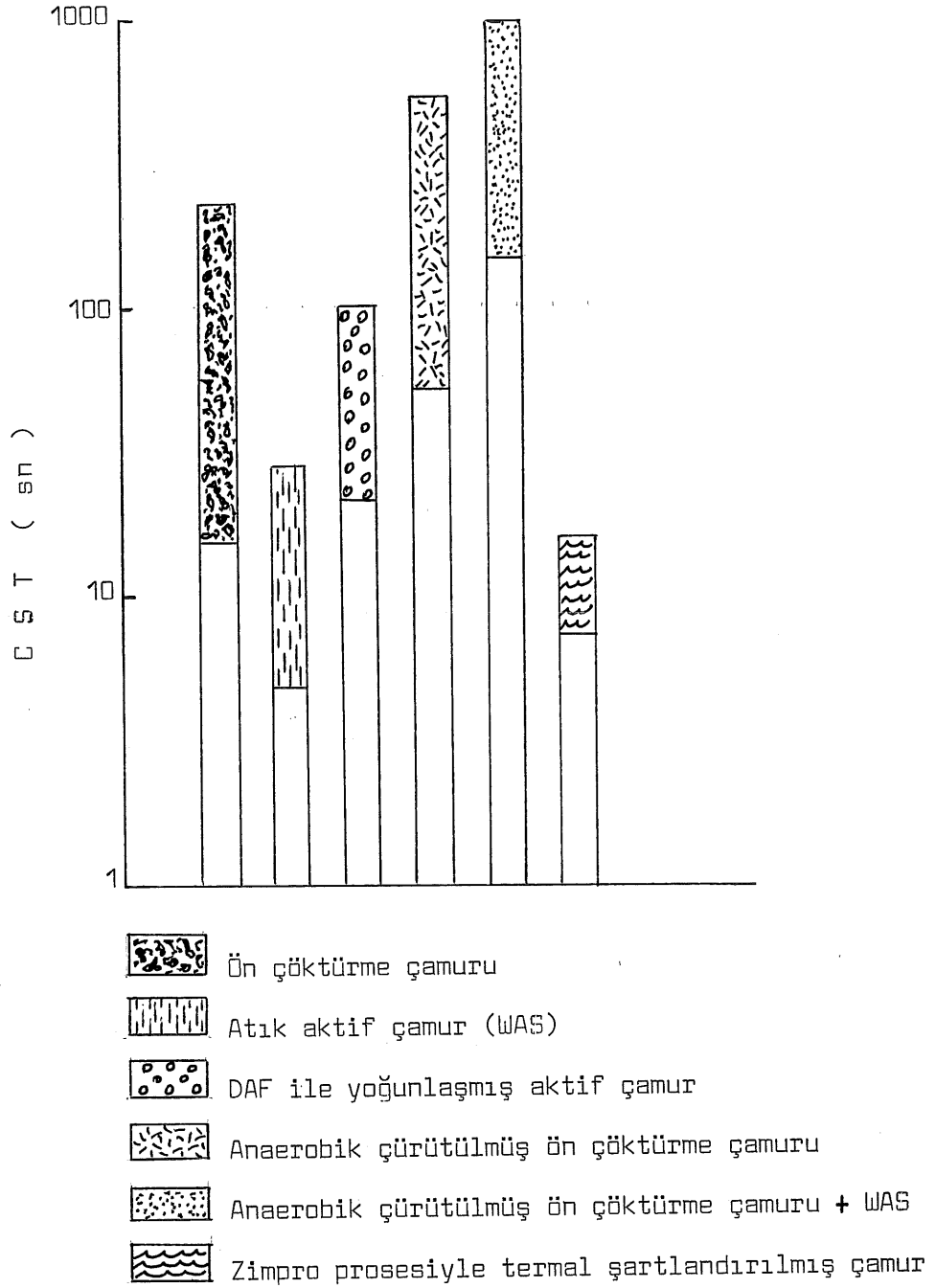
Üst blok üzerinde yer almaktadır.

- d) Zamanlama mekanizması, burada suyun radyal olarak hareketi sırasında alt probdan üst proba ulaşması için geçen süre saniye olarak okunabilir.

İlk kullanım alanları, yerçekimi etkisiyle çamurun suyunu bırakma süresini verebilen bir parametre olması nedeniyle, çamur kurutma yatağı tasarımına yönelik olmuştur. Ancak, çamur şartlandırma sistemlerinde gerekli olan kimyasal dozajını bulmak için, yaygın olarak kullanılmaktadır [13].

Ölçümü yapılacak çamur örneği rezervuar içerisine boşaltılır. Burada filtre kağıdı içerisinde bulunan kılcal boşlukların yaratmış olduğu emme basıncı, çamur yüksekliğinin yarattığı hidrostatik basınç yanında daha fazla olduğundan, rezervuar içerisine konulan çamur hacminin miktarı önemli değildir. Çamur içerisindeki su, filtre kağıdına temas ettiği anda, filtre kağıdı boyunca bir akım başlar. Bu akım zamanla büyümeye başlayan dairesel dalgalara dönüşür. Bu dalgalar içteki probu ıslattığı anda, zamanlayıcı çalışmakta ve dıştaki proba ulaşıldığı anda, zamanlayıcıyı durdurmaktadır. Aradan geçen süre ise, CST olarak kaydedilmektedir [35].

Hızlı filtrelenebilen çamurlar için 10 mm'lik, normal filtrelenebilenler için 18 mm'lik rezervuarlar kullanılmaktadır. Genelde, mekanik olarak suyunu alma sistemleri için, çamur CST 18'in 50 sn'den az olması uygun filtrasyon özelliği gösterir. Değişik çamur türleri için rastlanan aralıklar, Şekil 2.20'de verilmiştir. SRF için olduğu gibi, burada da anaerobik olarak stabilize edilmiş atık aktif çamur - ham çamur karışımı, en kötü filtrelenme özelliği göstermektedir [34].



Şekil 2.20 Değişik Çamurlar İçin CST'nin Değişimi

SRF'nin tersine, CST direkt olarak çamur katı konsantrasyonuna bağlıdır. Bu da belirli bir çamur için, SRF ve CST sonuçlarının korelasyonunu güçleştirmektedir [22].

2.7.3. Basıncılı Filtrasyon Süresi (PFT)

Yukarıdaki bölümlerde tanımlanan SRF'nin ölçüm zorluğu ve CST'nin dayandığı empirik ifadeler, araştırmacıları yeni parametreler yardımı ile çamur suyunu alma özelliklerinin belirlenmesine yönlendirmiştir. Bunların en önemlisi, "Basıncılı Filtrasyon Süresi" (PFT) dir.

İngiltere'de "Water Research Center" (WRc) - Stevenage Laboratuvarı tarafından geliştirilen bu parametre, detayı ve bileşenleri ilerideki bölümlerde verilecek olan, yarı otomatik bir cihazla kolay ve hızlı olarak ölçülebilmektedir [36]. Bu parametre, tamamen klasik filtrasyon modelinde yapılan bir modifikasyonla tanımlanmış olup, aynı zamanda, özellikle filtre preslerin verimini de yansıtmakta ve floküle edilmiş çamurların, değişik basınç değerleri altında filtrelenebilme özelliklerini verebilmektedir.

Ayrıca PFT, klasik filtrasyon parametresi SRF ile doğru orantılıdır [37].

2.7.4. Sıkışabilirlik

Genel filtrasyon teorisinde ortaya çıkan (2.15) no.lu denklemin integrasyonunda, sabit özgül direnç (SRF) kabulü, yalnız sıkışamayan kekler için geçerlidir. Bunun yanı sıra, basınç arttıkça filtrasyon hızı da artmaktadır. Bu denklemlerde karşılaşılan en önemli güçlük, özgül direncin toplam basınç farkına (P) bağımlılığıdır. Evsel çamurlarda olduğu gibi, sıkışabilen malzemelerde uygulanan toplam basınç farkı arttıkça, çamur katılarında meydana gelen deformasyondan ötürü, özgül direnç (SRF) sabit kalmaktan öte, sürekli artmaktadır [3].

Uygulanan toplam basınç farkı, optimum filtrasyon hızını etkileyebilecek önemli bir işletme parametresidir. En uygun şartları sağlayabilmek için, SRF ile P arasında da bir bağıntı geliştirilmiştir.

$$SRF = k (P)^s \dots \dots (2.29)$$

Burada,

SRF : Özgül direnç

k : SRF (P=1 olduğu anda)

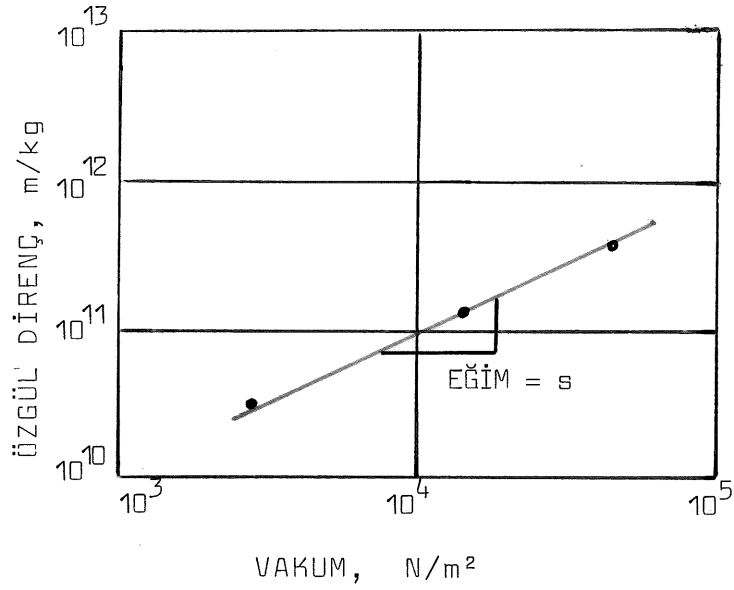
s : Sıkışabilirlik katsayısıdır.

Özellikle basınçlı filtrasyon sistemlerinde, çamur sıkışabilirliğinin ölçümü faydalı olmaktadır. Çoğunlukla, fazla sıkışabilir çamurların filtrasyonu sırasında, yüksek basınç değerleri uygulanırken çamur, kek üzerinden sıvı akışını engelleyebilecek kadar sıkışabilmektedir.

Sıkışabilirlik katsayısı, logaritmik ekseninde elde edilen SRF/P doğrusunun eğiminden hesaplanır. (Şekil 2.21) Genellikle uygulanan basınç aralığı, 20-100 KN/m² olmaktadır.

Kum gibi sıkışamayan maddelerde sıkışabilirlik katsayısı s=0 olurken, evsel çamurlar için (s) değeri 0.4-0.85 arası verilmektedir [3]. Yine Smollen'in yaptığı bir çalışmada, anaerobik olarak çürütülmüş çamurlar en düşük sıkışabilirliğe (s=0.5) sahip olurken, aktif çamurun sıkışabilirlik katsayısı s=1.4 gibi yüksek bir değere ulaşmaktadır. Aynı çalışmada, termal şartlandırılmış çamurda bu değer, 1.0 olarak bulunmuştur [39].

Baskerville ve diğerleri tarafından yapılan başka bir çalışmada da, basınçta meydana gelen artışla, kekin kuru katı madde içeriğindeki artışın orantılı olmadığı sonucu ortaya çıkmaktadır. Örneğin, basıncın 10 kat



Şekil 2.21 Sıkışabilirlik Katsayısının (s) Belirlenmesi

arttırımında meydana gelen kekin katı madde oranındaki artış % 34 olmaktadır. En düşük sıkışabilirlik katsayısına sahip olan anaerobik çürütülmüş çamurların basınç artışlarına tepkileri, aktif çamura göre daha fazla olmakta ve yüksek katı oranları elde edilebilmektedir [38].

2.8. Aktif Çamur Sisteminde İşletme Parametrelerinin Çamur Suyunun Alınabilirliğine Etkileri

Aktif çamur işletme parametrelerinde çamur yaşı, çözülmüş oksijen konsantrasyonu, ayrıca atıksu özellikleri, pH ve reaktörün hidrolik özellikleri çamur suyunun alınabilirliğine etki eden başlıca faktörlerdir.

Atıksuyun KOI/N oranı, çamur filtreleme özelliklerini büyük ölçüde değiştirebilmektedir [40].

Düşük organik yükte çalışan sistemlerde (O.L.R. organik yükleme hızı) , (O.L.R. \leq 0.4g KOI/gün/g MLSS) KOI/N oranının, çamur filtrelenebilirliği ile karbonhidrat bileşeni üzerine etkisi az olmaktadır. Ancak, yüksek yükleme ile çalışan sistemlerde, (O.L.R. $>$ 0.4g KOI/gün/g MLSS) KOI oranının etkisi önemli olmaktadır [41]. Karbonun kısıtlayıcı olduğu büyüme şartlarında protein yüzdesi fazla iken (KOI/N=5.3/1), karbonhidrat yüzdesi düşük kalmaktadır. Bunun tersine, azotun kısıtlayıcı olduğu büyüme şartlarında (KOI/N=106/1), karbonhidrat yüzdesi protein yüzdesinin yanında fazla olmaktadır.

Azotun kısıtlayıcı olduğu sistemlerde yüzey yükü, karbonun kısıtlayıcı olduğu sistemlere göre daha büyük olmaktadır. Bu nedenle, azotun kısıtlayıcı unsur olduğu sistemlerde, filtrasyon özgül direnci, karbon kısıtlayıcı sistemlere göre daha büyüktür [41].

Çamur yaşı (θ_c) ve F/M oranının aktif çamur filtreleme özelliklerine etkisi, değişik araştırmacılar tarafından incelenmiştir. Optimum filtrasyon hızlarının θ_c 8 gün değerleri için olduğu, Knocke ve Zentkovich tarafından bulunmuştur [42]. Bu çalışmaya bağlı olarak, θ_c ile SRF arasındaki ilişki, değişik çamur kaynakları için Tablo 2.16'da verilmiştir.

Ayrıca Wu ve diğ. çalışmalarında, azotu zengin ortamda büyüyen kültürler için, minimum SRF değerinin, $\theta_c=14.2$ gün ve F/M=0.54, azotu az ortamlarda büyüyenlerde ise, $\theta_c=15.2$ gün ve F/M=0.35 için sağlandığını bulmuşlardır. Sonuç olarak sabit θ_c ve F/M değerlerinde çalışan bir sistemde, azotu zengin çamurun özgül direnci (SRF), azotu az çamura nazaran daha düşük olacaktır.

Çamur yaşıyla SRF'i bağdaştıran en önemli özellik, çamur matrisi içerisindeki danelerin karakteristik büyüklüğüdür. Çamur suyunun alınabilirliğine etki eden

Tablo 2.16 Çamur Yaşı ile Özgül Direnç İlişkileri

Çamur Türü	Optimum Özgül Direnç m/kgx10 ¹¹	SRF'ye Karşılık Gelen Sıcaklık gün
Sentetik beslemeli reaktör	4-5	12-16
Reaktör ilk çıkışı	25-30	8-16
Aktif çamur tesisi	20-25	15
Aktif çamur (evsel atık)	40-45	18-24
Aktif çamur (N'u zengin atık)	40-50	14-17
Aktif çamur (N'u az atık)	70-80	15-18
Aktif çamur (Et işleme atığı)	30-50	12-17

faktörlerden birisi de, çamurun flok oluşturabilme yeteneğidir. Aktif çamur floklarının geniş ve güçlü olmaları halinde, filtrelene özelliği mükemmeldir. Ancak, büyümeyi kısıtlayıcı faktörler nedeniyle, filament bakterisi gelişimi ya da disperse olmuş toplu iğne başı (pinpoint) flokların oluşumu durumunda, çamurun iyi flokleşme özelliği bozulmakta, bu da suyunun alınmasını güçleştirmektedir.

Filament türü bakterinin baskın olması halinde, havalandırma havuzunun çözülmüş oksijen konsantrasyonu önemlidir. Yetersiz havalandırma nedeniyle, çözülmüş oksijen konsantrasyonunun 2.0 mg/L'nin altına düşmesi, özgül direnci arttıran bir etmen olarak verilmiştir [42].

Havalandırma havuzu içerisinde çözülmüş oksijenin ve azotun kısıtlayıcı olması durumunda, reaktörün dispersiyon sayısındaki artışa da bağlı olarak (tam karışım-
lı reaktör), filament türü mikroorganizmalar aşırı derecede büyüyebilmektedirler. Bu da çamur suyunu alma ve çökme özelliklerini olumsuz yönde etkileyen bir durumdur. Azotun kısıtlayıcı olduğu sistemlerde, çamur hacim indeksi (SVI) ile özgül direnç (SRF) doğru orantılı olmalıdır [43].

BÖLÜM 3 FİLTASYON TEORİSİNDE PFT YAKLAŞIMI

Basıncılı filtrasyon süresinin (PFT) geliştirilmesi, şartlandırılmış çamurların filtrelenebilme özelliklerini çabuk ve kolay bir yöntemle ölçebilmek ihtiyacından kaynaklanmıştır. PFT metre ile yarı - otomatik olarak ölçülen bu yeni parametrenin en büyük avantajı, temel çamur filtrasyon teorisine uygun olması ve ayrıca özgül direnç (SRF) cinsinden ifade edilebilen ampirik bir bağıntısının bulunmasıdır [37].

PFT, geçirgen bir filtrasyon yüzeyi üzerinden süzülecek çamur örneğini istenilen basınçta hareketlendirebilen ve bu alandan geçebilen süzüntü hacmindeki belirli bir artışı, zaman cinsinden izleyebilen bir aygıt yardımıyla geliştirilmiştir.

PFT ile SRF arasındaki ampirik bağıntı, klasik filtrasyon teorisine uygun olarak ortaya çıkmıştır. Sabit basınç altında ve ortam direncinin (R_m) ihmal edilmesi durumunda, bir yüzey üzerinde büyüyen keke bağlı olarak meydana gelen filtrasyon hızı, (2.15) denkleminde kaynaklanan,

$$\frac{dV}{dt} = \frac{P}{\mu \cdot C_0 \cdot V \cdot SRF} \dots (3.1) \text{ denkleminde ifade edilir.}$$

Burada,

- V : Birim filtrasyon alanı başına gelen süzüntü hacmi (m^3/m^2)
- t : Zaman (sn)
- P : Toplam basınç farkı (N/m^2), ($N/m^2 = Pa$)
- C_0 : Besleme çamuru askıda katı madde konsantrasyonu (kg/m^3)

SRF : Özgül direnç (Tm/kg)

μ : Süzüntü viskozitesi (N.sn/m²) dir.

(2.15) denkleminde yer alan (w), buradaki teorik yaklaşımla, besleme çamuru askıda katı madde konsantrasyonuna (C_0) eşit alınmıştır.

$$t = t_a , \quad V = V_a \quad \text{ve}$$

$$t = t_b , \quad V = V_b$$

eşitliklerinde (3.1) denkleminin integrasyonu sonucunda,

$$PFT = t_b - t_a = \frac{\mu \cdot C_0 \cdot SRF}{2P} (V_b^2 - V_a^2) \dots (3.2) \text{ olur.}$$

Bu denklemde t_b ve t_a sırasıyla V_b ve V_a , süzüntü hacimlerinin geçmesi için gerekli sürelerdir. PFT metrede, ($t_b - t_a$) farkı, 12 cm²'lik filtrasyon alanından geçen ve eşdeğer süzüntü hacimlerinin 5ml ve 15ml olduğu V_a ve V_b 'ye karşılık gelen basınçlı filtrasyon süresini (PFT) verir. A , V_a , V_b 'nin sayısal değerleri (3.2)'de yerine konularak, SRF ile PFT arasındaki ampirik ifade elde edilir.

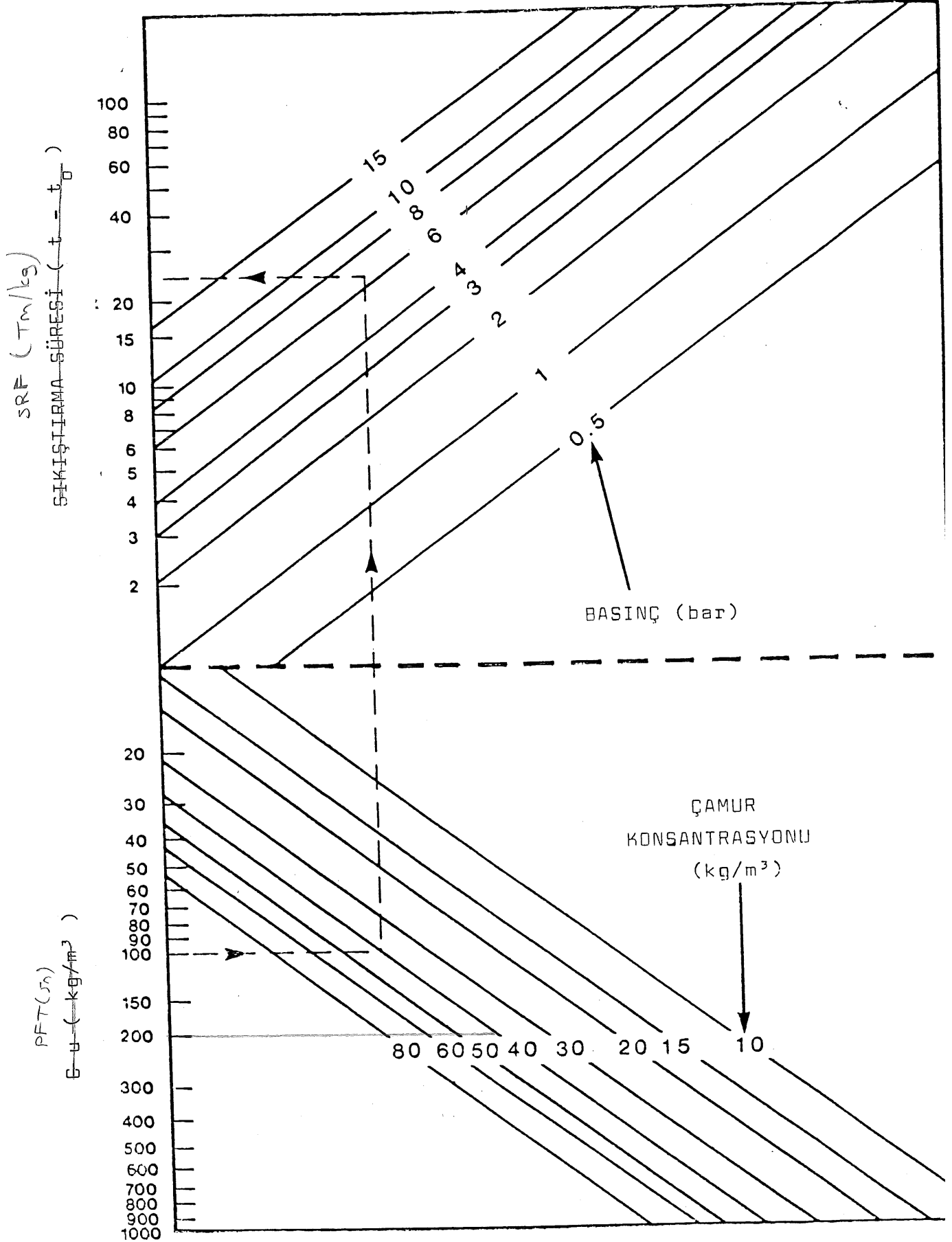
$$\frac{SRF}{PFT} = 14.4 \times 10^6 \left(\frac{P}{C_0} \right) \left(\frac{\mu_{20}}{\mu_m} \right) \dots (3.3)$$

Burada,

μ_{20} : 20°C'deki suyun viskozitesi (1005 N.sn/m²)

μ_m : "m" ölçüm sıcaklığındaki suyun viskozitesi

(3.3) denklemiyle ifade edilen bu bağıntı, Şekil 3.1'de grafiksel olarak verilmiştir. Buna göre, besleme konsantrasyonu bilinen ve belirli bir basınçta PFT'si ölçülen çamurun SRF değeri bu grafik yardımıyla hesaplanabilmektedir. Grafikte görülen örnekte, 40 kg/m³



Şekil 3.1 PFT ile SRF Arasındaki İlişki

konsantrasyonundaki bir çamurun 7 barda (690 KN/m²) ölçülen 100 sn'lik PFT'sine karşılık gelen SRF değeri 25 Tm/kg olarak okunmaktadır.

Grafikten ve bağıntıdan görüldüğü gibi, artan basınç değerleri için SRF artmaktadır. Bu artış, çamur sıkışabilirliğinden kaynaklanmaktadır. Ayrıca çamur konsantrasyonunun artan değerleri için de, SRF azalmaktadır. Grafikten ortaya çıkan diğer bir sonuç da, PFT değerlerinin C₀ ile arttığı ve belirli konsantrasyondaki çamurların PFT'lerinin basınçla değişmediğidir.

Genel olarak çamurların özgül direnci (SRF), çamur katıları sıkışabilir olduğundan ve kek üzerinde meydana gelen hidrolik kuvvetler altında ezildiklerinden, basınçla beraber artmaktadır. SRF'nin basınçla olan değişimi daha önce verildiği gibi,

$$SRF = k_1 (P)^s \dots\dots (2.29)$$

olmaktadır. Bu ampirik ifade yardımıyla da, sıkışabilirlik katsayısı (s) hesaplanabilmektedir.

PFT'nin basınçla değişimi ise,

$$PFT = k_2 P^{(1-s)} \dots\dots (3.4)$$

Bu denklemlerdeki k₁ ve k₂, orantı sabitleridir.

(2.29) ve (3.4) denklemleri karşılaştırıldığında, organik çamurların (s=1.0 için) PFT değeri basınçtan bağımsız olurken, SRF'leri basınçla doğru orantılıdır [37]. (s=0) olan, sıkışamayan inorganik maddelerde (kum gibi),

$$SRF = k_1 \dots\dots\dots (3.5) \text{ ve}$$

$$PFT = k_2 P \dots\dots\dots (3.6) \text{ iken,}$$

(s=1) olan organik, sıkışabilir maddelerde (evsel çamurlar gibi),

$$SRF = k_1 P \dots\dots\dots (3.7) \text{ ve}$$

$$PFT = k_2 \dots\dots\dots (3.8) \text{ olmaktadır.}$$

Sıkışabilirlik katsayısının (s) 1.0'dan küçük değerleri için SRF basınçla beraber artarken, PFT değeri azalmaktadır.

PFT metre, filtre preslerde sıkıştırma sürelerinin hesabında da kullanılmaktadır. Bölüm 2.6'da anlatıldığı gibi, bir filtre preste filtrasyon üç aşamada gelişmektedir. Filtrasyon eğrisinin ekspansiyonel olduğu üçüncü faz, sıkışma bölgesinde boyutsuz değişkenler kullanılarak ($0.5 < D < 1$) aralığında tanımlanan eğrinin denklemi,

$$\ln 2(1-D) = +4K [T - (T_0 + 0.125)] \dots\dots (3.9)$$

olmaktadır [37]. Burada,

D : Tamamlanma derecesi (V/Vu)

K : Kek mobilite sayısı

P : Basınç (N/m²)

T : Boyutsuz zaman $\left(\frac{tP}{\mu RC_0 Vu^2} \right)$

T₀ : Dolma periyodu sonu (Boyutsuz zaman) dir.

$$(T - T_0) = \frac{(t - t_0)P}{\mu \cdot SRF \cdot C_0 Vu^2} \dots\dots\dots (3.10)$$

Nihai süzüntü hacminin (Vu), pratik olarak filtrasyon süresi sonunda belirlenmesi olası değildir. Bu sorunu ortadan kaldırmak için, belirlenmesi kolay bir işletme parametresi olan nihai kek konsantrasyonu (Cu), Vu

yerine kullanılmaktadır. Kek katı konsantrasyonu ile V süzüntü hacmi arasındaki kütle dengesi, aşağıdaki denklemle verilmektedir [37]:

$$\frac{C_c}{C_o} = 1 + \frac{2V}{W} \dots\dots (3.11)$$

Burada,

- C_c : Ortalama kek katı konsantrasyonu (kg/m³)
- C_o : Besleme çamur konsantrasyonu (kg/m³)
- W : Filtre pres plaka genişliği (m) dir.

(3.11) bağıntısında C_c yerine C_u koyularak, nihai süzüntü hacmi için şu bağıntı elde edilir:

$$V_u = \left(\frac{C_u}{C_o} - 1 \right) \frac{W}{2} \dots\dots (3.12)$$

(D) tamamlama derecesi değeri, sıkıştırmanın başında sıfırdan, filtrasyonun bittiği andaki 1.0'e kadar değişmektedir. (D)'nin 0.9'a ulaştığı anda, kabul edilebilir kalitede kek oluştuğu varsayılmakla beraber, D = 0.98 (% 98'lik tamamlama) değerine ulaşıncaya kadar devam eden sıkıştırma işlemlerinden en mükemmel kekin elde edildiği literatürde verilmektedir [37].

(K) kek mobilite sayısının aralığı, daha önce verildiği gibi, 0.6-1.0 olurken, tipik değeri 0.8 olmaktadır [37], [26].

(T) boyutsuz zaman değişkeni ise, gerçek zaman (t) ile doğrudan orantılıdır. T_o, doldurma ile büyüme bölgeleri arasındaki geçişi göstermektedir. D = 0.5 değeri (3.9) denkleminde yerine koyularak (T - T_o) = 0.125 ile tanımlanan büyüme bölgesi sonu bulunabilmektedir.

(3.10) denkleminde verilen SRF'nin yerine (3.3)'de tanımlanan değeri konularak, boyutsuz zaman ile PFT arasında bir bağıntı elde edilebilir,

$$T-T_0 = \frac{P(t-t_0)}{\mu C_0 V u^2 14.4 \cdot 10^6 \frac{P}{C_0} PFT} \dots (3.13)$$

Bu denklem düzenlenerek,

$$T-T_0 = 69.4 \cdot 10^{-6} \left(\frac{\mu m}{\mu p} \right) \frac{(t-t_0)}{PFT \cdot V u^2} \dots (3.14)$$

bulunur.

Bu denklemde (μp) , presten kaynaklanan süzüntünün viskozitesidir. Yukarıda verilen denklemler, bir filtre preste PFT, sıkıştırma süresi ve diğer işletme değişkenleri arasındaki performans ilişkilerini göstermektedir.

$$(t-t_0) \left(\frac{\mu m}{\mu p} \right) = f(PFT, C_u, C_0, \dots) \dots (3.15)$$

$D, W, K=0.8$

ile tanımlanan performans kartları, $K=0.8$ için (D) 'nin 0.9, 0.95, 0.98 ve filtre pres plaka genişliklerinin (W) 25, 32, 38 mm değerleri için türetilmiştir.

(3.14) denkleminde $(T-T_0)$ ile Vu 'nun değerleri yerine yerleştirilerek,

$$t-t_0 \left(\frac{\mu m}{\mu p} \right) = 14.4 \cdot 10^6 \left(0.125 \frac{\ln 2(1-D)}{4K} \right) \frac{W^2}{4} \left(\frac{C_u}{C_0} - 1 \right)^2 \cdot PFT \dots (3.16)$$

açık denklemi yazılabilir. Burada, K , D ve W değerleri yerleştirildiğinde bir filtre preste sıkıştırma süresinin PFT'nin, çamur besleme ve nihai kek konsantrasyonlarının fonksiyonu olduğu görülmektedir.

Performans kartlarına örnek olarak,

Şekil 3.2'de, $D = 0.90 - W = 32$ mm

Şekil 3.3'de $D = 0.98 - W = 32$ mm

Şekil 3.4'de $D = 0.95 - W = 25$ mm

Şekil 3.5'de $D = 0.98 - W = 38$ mm

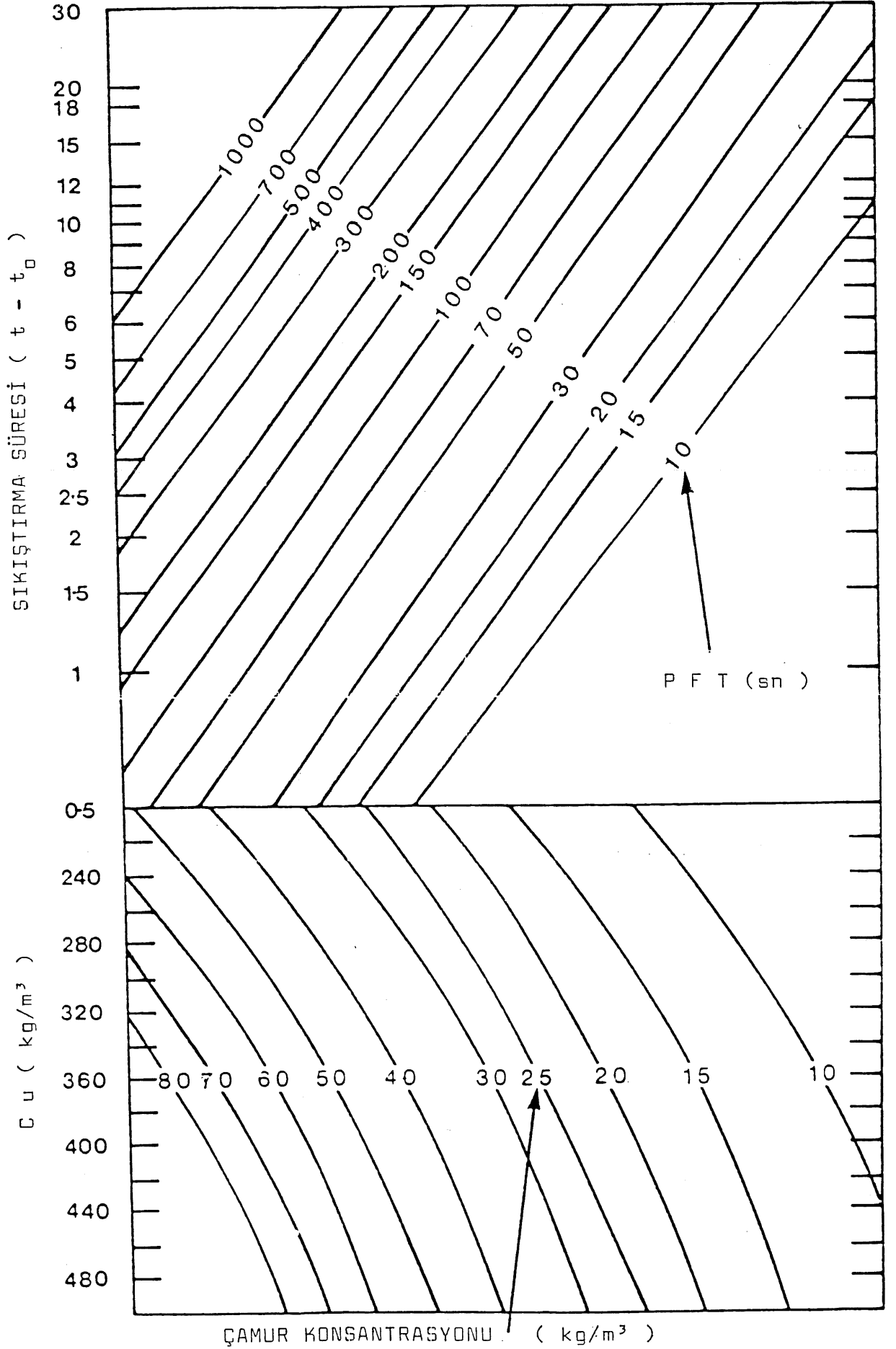
için eğriler verilmiştir.

Performans kartları yardımıyla, besleme konsantrasyonu ve PFT değeri bilinen çamurların belirli bir nihai kek konsantrasyonuna ulaşmaları için gerekli sıkıştırma süresi bulunabilmektedir. PFT ölçümleri ile sıkıştırma işlemleri aynı sıcaklıkta yürütülerek, viskozite düzeltmesinin yapılmaması olasıdır.

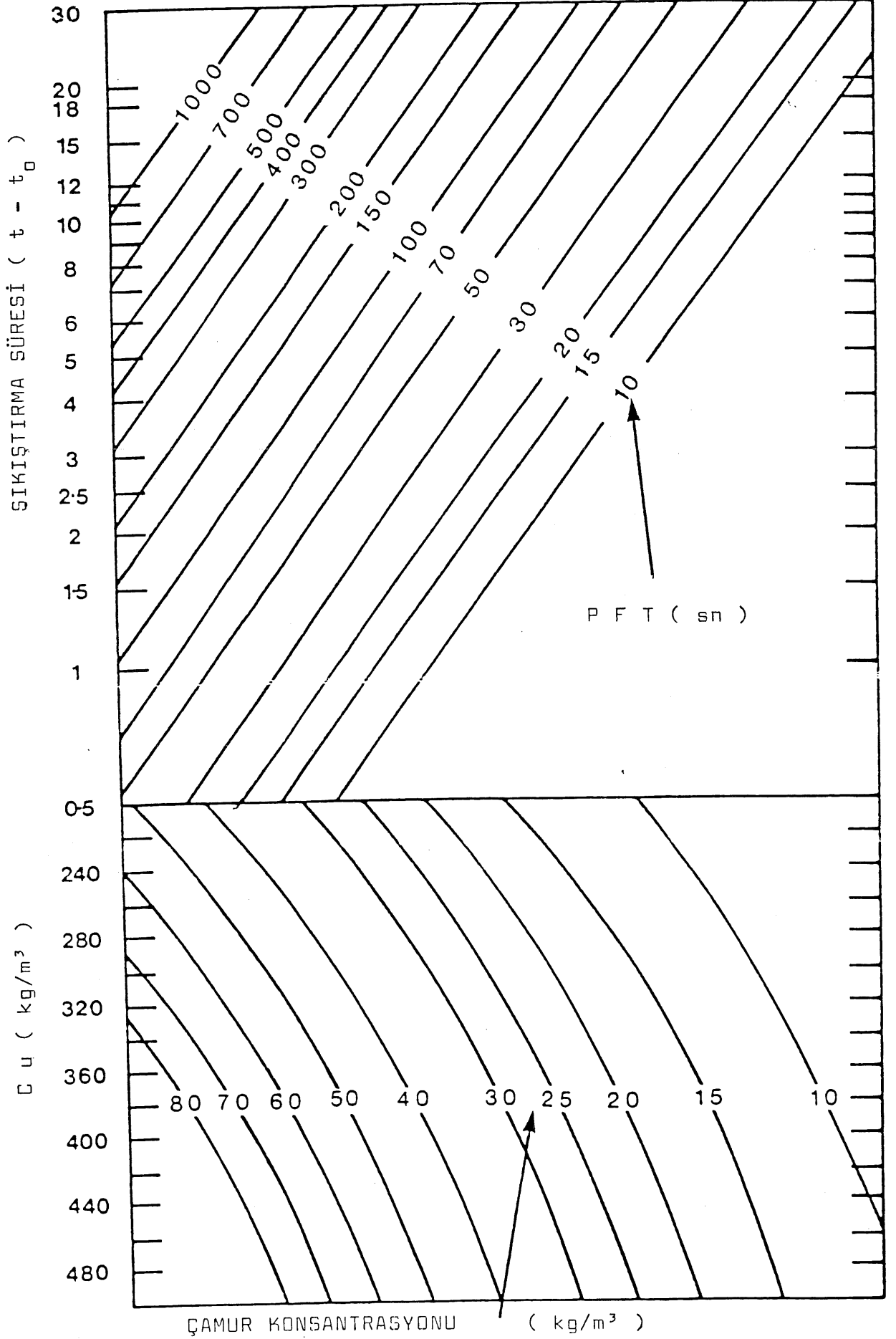
Şekillerden de görüleceği gibi, aynı çamurların (sabit PFT ve C_0) aynı (D) değerleri için filtre plaka kalınlığı (W) arttıkça, sıkıştırma süreleri artmaktadır. Bunun yanında, aynı çamurların aynı plaka kalınlıklarında filtrelenmelerinde, (D) tamamlama oranı azaldıkça, belirli nihai konsantrasyona ulaşmak için gereken sıkıştırma süresi ($t-t_0$) azalmaktadır.

PFT metreye yönelik kolaylıklar ve çok yönlülük, deney sonuçlarının sistem tasarımında ve işletiminde kullanımını sağlamaktadır.

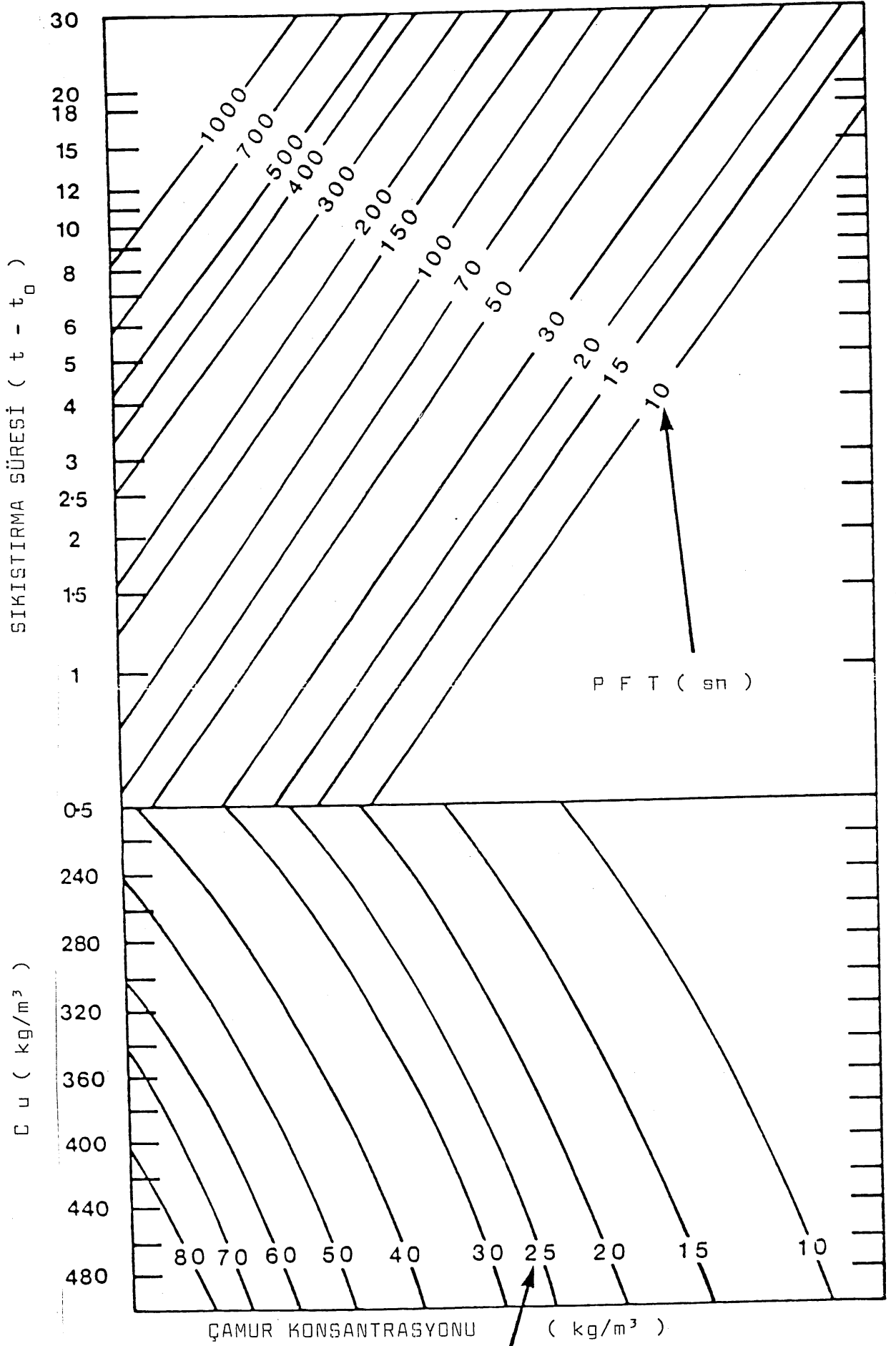
Bu bölümde denklemleri verilen teorinin, deneysel olarak uygulaması ve sonuçlarının değerlendirilmesi ilerideki bölümlerde verilecektir.



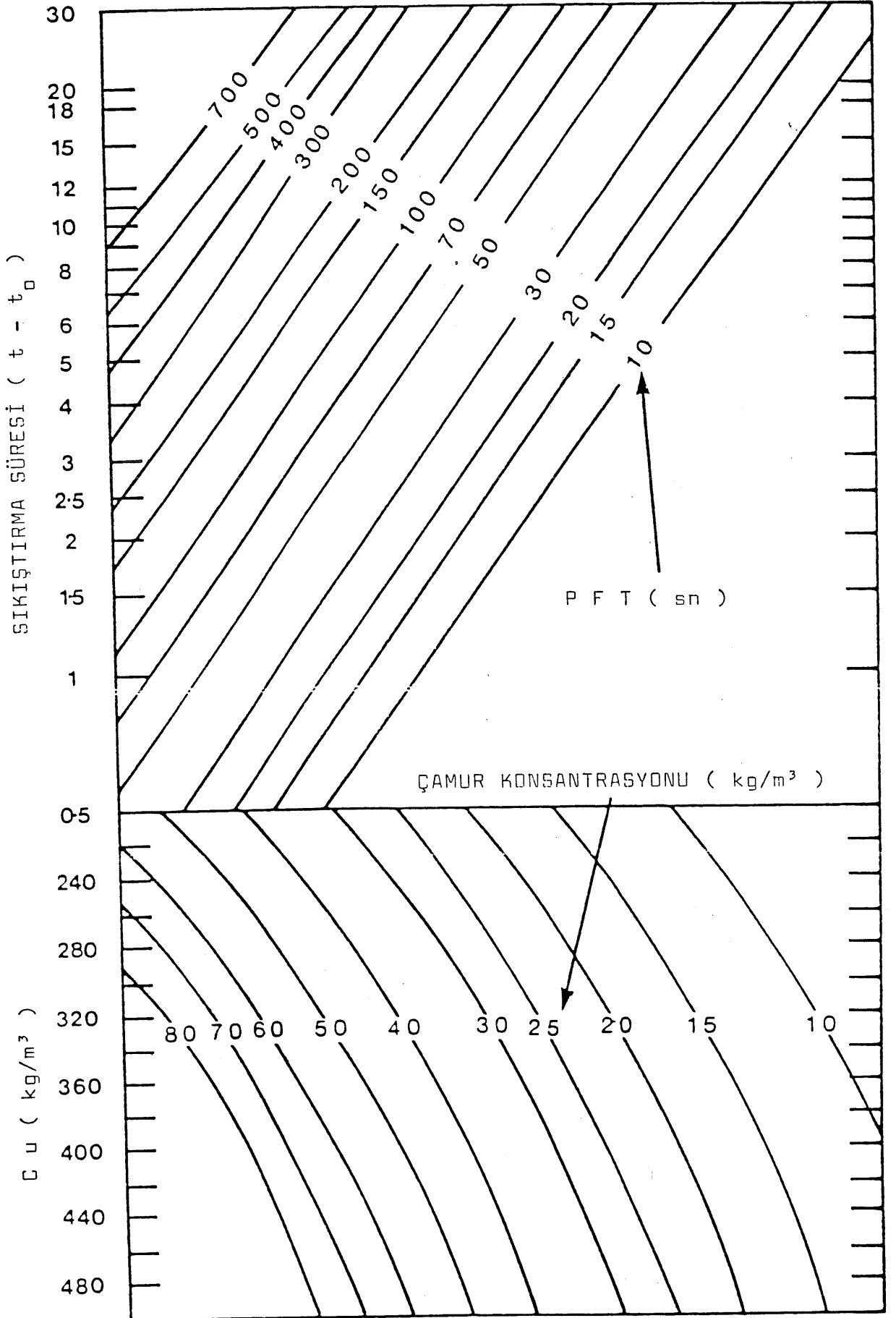
Şekil 3.2 Performans Kartı ($D=90$, $W=32$ mm)



Şekil 3.3 Performans Kartı ($D=98$, $W=32$ mm)



Şekil 3.4 Performans Kartı ($D=95\%$, $W=25\text{ mm}$)



Şekil 3.5 Performans Kartı ($D=98$, $W=38$ mm)

BÖLÜM 4 DENEYSEL ÇALIŞMA

4.1 Giriş

Bu bölümde, daha önceki kısımlarda teorisi ve tanımı anlatılan, yeni filtrasyon parametresi PFT'nin ölçümü ve anlamı kapsamlı olarak verilmektedir. İlk defa İngiltere'de Water Research Center (WRC) "Çamur İşleme Gurubu" tarafından geliştirilen bir aygıtla kayıt edilen PFT'nin standart ölçüm yöntemi, bundan sonra yapılacak çalışmalara yardımcı olması amacıyla, maddeler halinde verilmiştir. Yeni geliştirilmekte olan "basıncılı filtrasyon süresi" (PFT)'ye ait, literatürde veri bulunmamaktadır. Bu deneysel çalışmanın amacı, PFT'nin verilen teorinin sonuçlarıyla bağdaşıp bağdaşmadığının bir yorumudur.

4.2 Deneysel Materyel

4.2.1 PFT Ölçüm Yöntemi

Kullanılan Ekipman

PFT ölçümü sırasında, farklı amaçlı değişik aygıtlar kullanılmaktadır. Ancak bunların tümü, ilerideki PFT ölçümüne hazırlık olmaktadır.

PFT ölçümü yapılacak çamurun ilk önce uygun olarak şartlandırılması gereklidir. Çamur danelerinin yumak oluşturarak boyutunu arttırmak ve basınçlı sistemlerde suyun alınabilirliğini kolaylaştırmak amacıyla, kationik polielektrolit şartlandırıcı olarak kullanılmıştır. "Allied Coloids" firmasının patenti olan Zetag 87, yüksek moleküler ağırlıklı (>10 milyon) sentetik kationik polyakrilamittir. Genel olarak, çamur şartlandırılmasında uygulanan pratik dozaj 1 g/L olduğundan

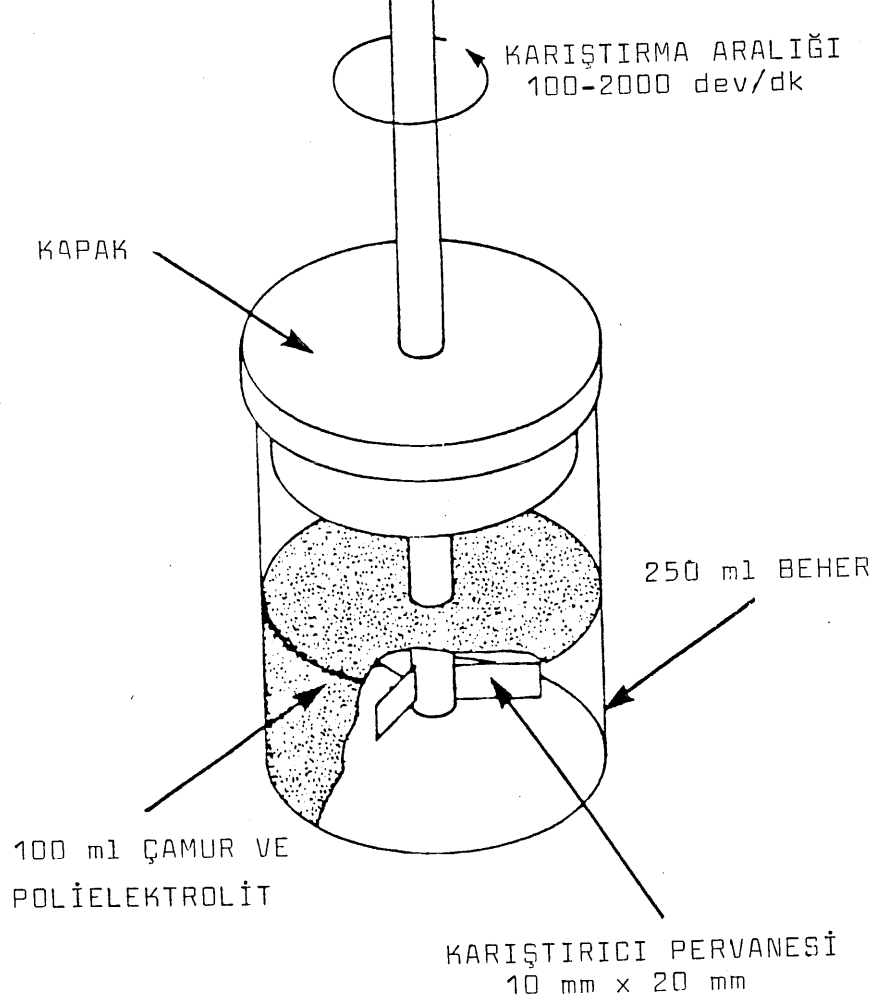
↑
konsantrasyon

(WRc - Stevenage), bu çalışmada da aynı dozaj uygulanmış ve % 0.1'lik Zetag 87 polielektrolit çözeltisi hazırlanarak çamura karıştırılmıştır. Optimum pH aralığı çok geniş olan (pH : 4-10) ve suda kolay, çabuk çözünebilen bu polielektrolit, yüksek kationik aktiviteye sahip olması nedeniyle, aktif çamur suyunu alma çalışmalarında yaygın olarak kullanılmaktadır.

Optimum karıştırma koşullarının belirlenmesi amacıyla, 100-2000 devir/dk aralığında çalışabilen ve çalışma süresi bir zaman rölevesiyle kontrol edilebilen karıştırıcı kullanılmıştır (Şekil 4.1). Karıştırıcı, polielektrolit ile çamurun homojen olarak karışımını sağlarken, uygun filtrasyon için optimum boyutta yumak oluşturmaktadır. Uygun bir yumak oluşumu için, kullanılan karıştırıcı tipi de önem taşımaktadır. Burada, 10mm x 20mm boyutlarında üç ayaklı karıştırıcı kullanılmıştır.

Polielektrolit ile şartlandırılmış çamur örnekleri daha sonra (Şekil 4.2)'de görülen PFT metre'ye verilirler. PFT metre, dört temel bileşenden oluşmaktadır. Bunlar basınç kabini (gövde), filtrasyon silindiri, süzüntü toplama kolonu ve zaman rölevesidir. PFT metre, pratik olarak, 0-10 bar basınç aralığında işletilebilmektedir. Bu çalışmalarda basınç kaynağı olarak, 10 litre hava rezervuarlı, maksimum işletme basıncı 8 bar olan Pioneer marka kompresör kullanılmıştır.

(Şekil 4.3)'de filtrasyon düzeneği şematik olarak verilmiştir. Buradan da görülebileceği gibi, silindirik kolonun alt kısmı gövdeden ayrılabilir yapıdadır. Bu kısımda filtrasyon yüzeyi olarak, 47 mm çapında Whatman 17 filtre kağıdı kullanılmaktadır. Bu silindir ile çamur numunesinin filtrasyonu, poröz bir destek üzerine yerleştirilen filtre kağıdı yardımıyla yapılmaktadır. Aynı zamanda, bu silindir kolon içerisine yerleştirilen piston yardımıyla, eldeki çamur örneğinden kek üretmek mümkün

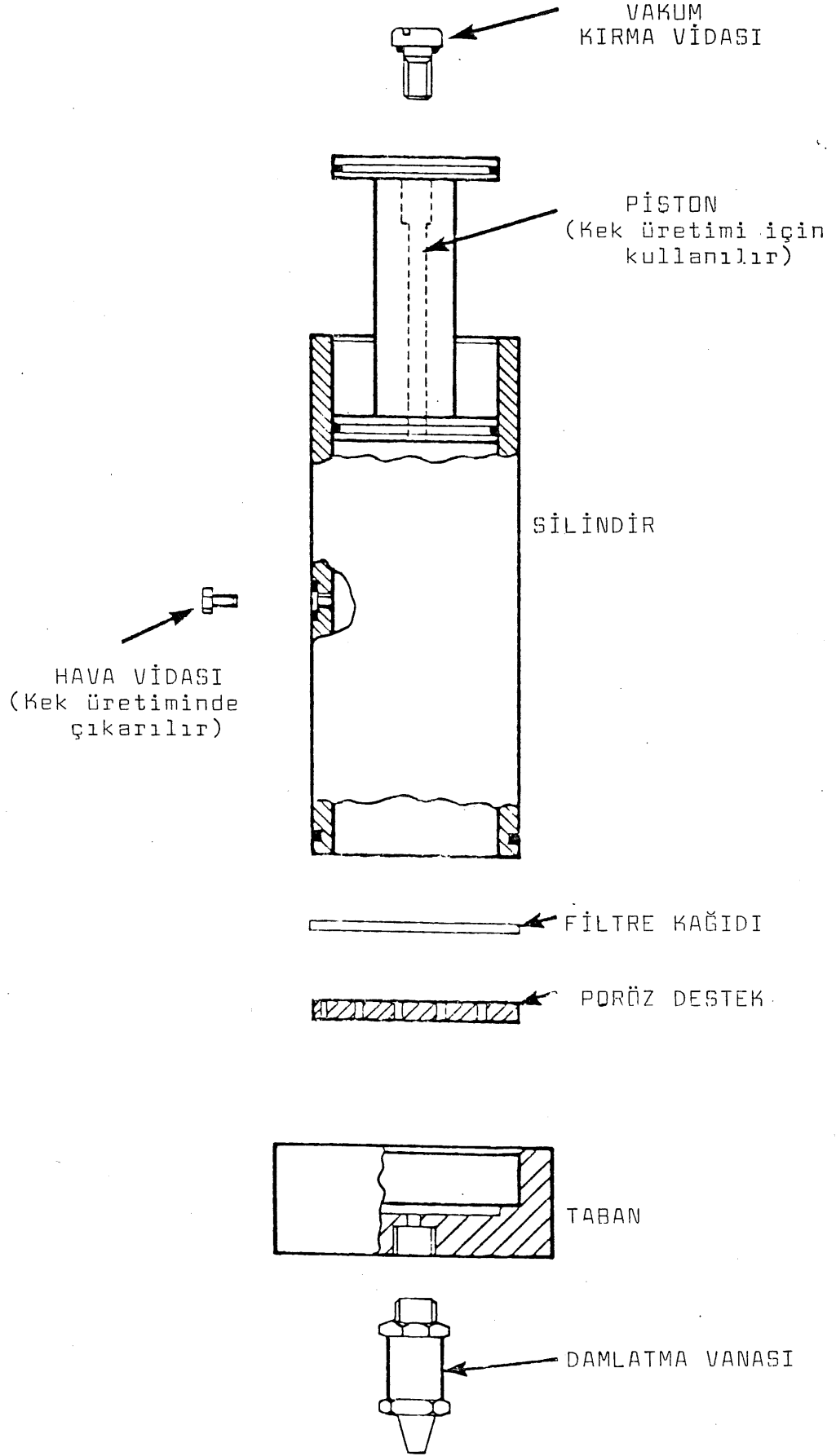


Şekil 4.1 Flokülasyonda Kullanılan Karıştırma Ekipmanları

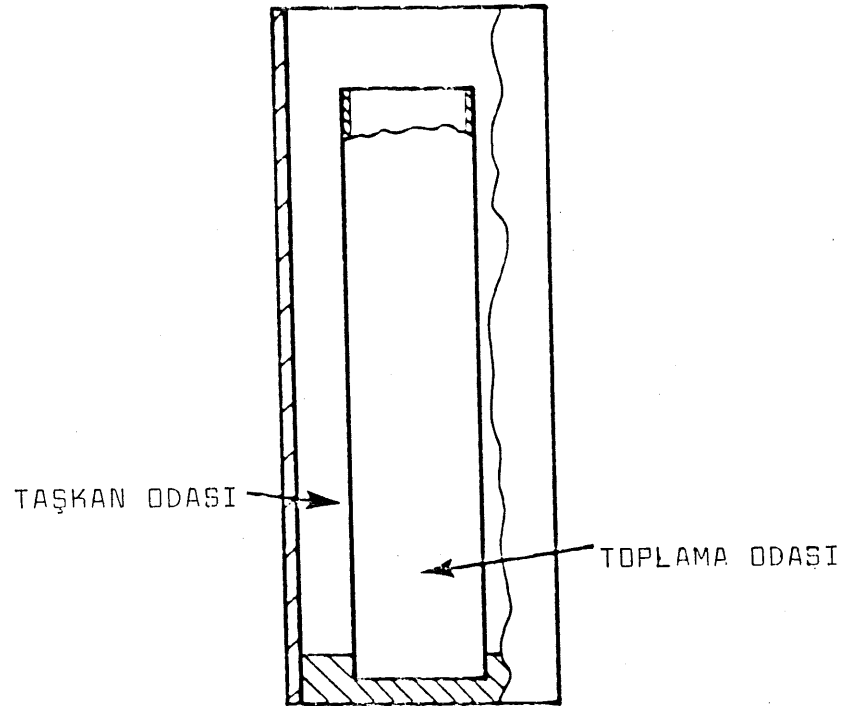
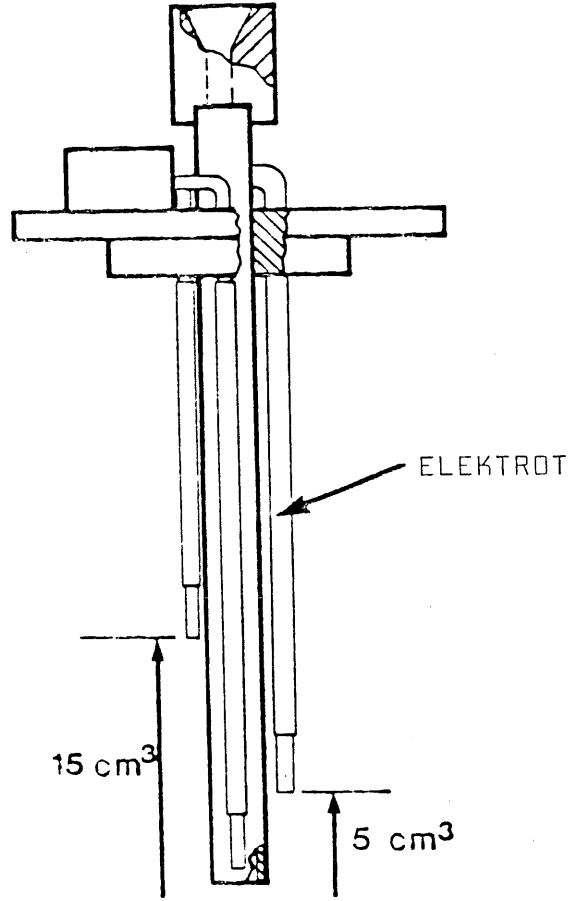
olmaktadır. Kek üretimi için, gövde üzerinde yer alan hava vidası gevşetilerek hava çıkışı sağlanmaktadır.

Süzüntü toplama kolonu, (Şekil 4.4)'de görülmektedir. Bu düzeneğin görevi, basınçlı filtrasyon sırasında oluşan süzüntü sularını toplayarak PFT'nin okunmasını sağlamaktır. Sabit basınç altında filtre kağıdından geçen

Şekil 4.2 Deneylerde Kullanılan PFT Metre



Şekil 4.3 Filtrasyon Düzenegi Şematik Görünümü



Şekil 4.4 Süzüntü Toplama Kolonu

süzüntüler, içerisinde üç prob bulunan bu kolonda birikmektedirler. Bu problemler, kolon içerisinde biriken süzüntü hacmine bağlı olarak, zaman rölevesini harekete geçirir ve durdururlar. Kolon içerisinde biriken su seviyesinin hacmi 5 cm^3 değerinde iken, orta proba temas ettiğinden, zaman rölevesi çalışmaya başlamaktadır. Su seviyesinin hacmi 15 cm^3 değerine ulaştınca, üst proba temas ederek akımı kesmekte ve zaman rölevesi durmaktadır. Bu son hacme ulaşmak için kayıt edilen süre, PFT olmaktadır.

Süzüntü toplama kolonundaki problemlere bağlı olarak kullanılan zaman rölevesi, sekiz haneli dijital göstergeli olup, hassasiyeti 0.001 saniyedir. Elde taşınabilecek şekilde portatif olup, şarj edilebilir. Ni - Cad 9 voltluk piller yardımıyla kullanılmaktadır.

Deneyin Anlamı

Bu deney, değişik arıtım sistemlerinden kaynaklanan farklı niteliklerdeki evsel veya endüstriyel kökenli çamurların, en uygun polielektrolit türü ve dozajında, optimum karıştırma koşulları altında şartlandırılarak, değişik basınçlar altında suyunun alınabilirliğinin PFT ölçerek kontrol edilmesini sağlamaktadır. Bu sistem yardımıyla, belirli bir çamurun suyunun alınabilirliği üzerine polielektrolit türleri, dozajı, karıştırıcı tipi, karıştırma hızı, karıştırma süresinin ve uygulanan basınç değerlerinin etkisi, kolaylıkla ölçülen PFT ile görülebilmektedir. Diğer taraftan farklı çamurların suyunun alınabilirlikleri, bu deney sistemi yardımıyla karşılaştırılabileceği gibi, bunların iyileştirilmesine yönelik çalışmalar da yapılabilmektedir. Zayıf filtrelenme özelliği gösteren çamurlara uygulanması gereken pratik polielektrolit dozajı bulunarak, bunların iyileşmesi, PFT'yi ölçerek kontrol edilebilmektedir.

Ayrıca kullanılan filtre malzemesi değiştirilerek ve diğer değişkenler sabit tutularak, farklı filtrasyon yüzeylerinin suyunu almaya etkileri de incelenebilmektedir.

PFT metre sistemiyle, bir bant filtre presin yükleme hızının bulunması mümkün olabilmektedir. Değişik ağırlıklardaki çamur örnekleri (100, 200, 300 g), yerçekimiyle drene edildikten sonra, farklı basınç değerlerinde sıkıştırılarak, katı madde konsantrasyonları belirlenir. Bu değerlere bağlı olarak, aynı filtrasyon alanından geçen katıların yükleme hızları (kg/m²/gün) karşılaştırılarak, optimum yükleme seçilebilmektedir.

Deneyin Girişimi - Dikkat Edilecek Özellikler

Genel olarak, PFT ölçümü sırasında girişim yapacak madde yoktur. Ancak bazı faktörler deney sonuçlarını etkileyebildiğinden, deneylerin büyük bir titizlikle yapılması lazımdır.

Çamur şartlandırma işlemlerinde kullanılan polielektrolit çözeltilisi, günlük olarak hazırlanmalıdır. Ayrıca, ölçümü yapılacak çamur örneklerinin, alındıktan 72 saat içinde analiz edilmesi, çamur özelliklerinin bozulmaması açısından önem taşımaktadır. Çamur özellikleri zamanla değiştiğinden, örneklerin 4°C'de saklanması uygun olmaktadır.

Polielektrolit ilavesi yapıldıktan sonra, karıştırıcının "beher" içerisindeki konumu önem taşımaktadır. Karıştırıcının düşey pozisyonda ve beher'in ortasında yer almasına, homojen bir karıştırma işlemi için dikkat edilmelidir.

Polielektrolit ile şartlandırılan ve yumaklaştırılan çamur örneğinin en geç bir saat içerisinde, özelliklerini değiştirmeden, PFT'sinin ölçülmesi uygundur.

PFT ölçümü sırasında, herhangi bir basınç kaçağını önlemek amacıyla, basınç kabının kapağı sıkıca kapatılmalı, ayrıca PFT metre ile kompresör arasındaki boru bağlantıları, deney öncesi kontrol edilmelidir.

Çamur örneğiyle doldurulan filtrasyon silindirinin, gövde içerisindeki yuvasına sıkıca oturmasına ve alt ucunun süzüntü toplama kolonuyla aynı seviyede olmasına dikkat edilmelidir.

Deney başlamadan önce, süzüntü toplama kolonunda bulunan problemler iyice kurulmalıdır ve zaman rölevesiyle olan bağlantıları uygun olarak yapılmalıdır. Ayrıca, zaman rölevesinin kalibrasyonunun bir yıl arayla yapılması, sonuçların hassasiyeti açısından tavsiye edilmektedir.

Deneyin Yapılması

Yukarıda anlamı ve özellikleri tanımlanan bu yeni parametrenin PFT metrede ölçümü, aşağıda verilen maddelere uygun olarak yapılmıştır:

1. Süzüntü toplama kolonu, içerisinde ıslaklık kalmayacak şekilde kurulmalı ve elektrolitler (problemler) zımparalanarak akıma karşı duyarlı hale getirilirler.
2. Süzüntü toplama kolonu, gövdenin alt kısmındaki yerine, filtrasyon silindirinin alt seviyesine oturtulur. Kolona ait elektrik kablosu, zaman rölevesine bağlanır ve devre açılır.
3. Filtrasyon silindirinin ayrılabilen alt parçasına kısmen su doldurulur.
4. Filtre kağıdının desteği poröz parça, alt kısımdaki yerine yerleştirilir.

5. Poröz parça üzerine, 4.7 cm çapında Whatman 17 filtre kağıdı yerleştirilir ve suyla ortama iyice yapışması sağlanır.
6. Silindirik kolon üzerindeki hava deliği vidası, kapanmış olarak alt parça üzerine geçirilir ve içerisindeki fazla su boşaltılır.
7. Filtrasyon silindiri içerisine, uygun olarak şartlandırılmış, en az 30 cm³ hacminde floküle çamur örneği boşaltılır.
8. Filtrasyon silindiri, PFT metre üzerindeki yerine sıkıca yerleştirilir.
9. Basınç kabininin ön kapağı kapatılarak, sistem içerisine hava girişi kilit mekanizması devre dışı bırakılır.
10. Panelin ön yüzeyinde bulunan hava anahtarı açılarak, sisteme kompresör çıkışı basınçlı hava verilir. Kabin üzerinde bulunan basınç göstergesinden, basıncın istenilen değere ulaşp ulaşmadığı kontrol edilir.
11. Filtrasyon süresince, süzüntü sularının toplama kolonunda birikmeye başlamasıyla, zaman rölevesi çalışmaya başlar ve belirli bir süre sonunda kendiliğinden durur. Arada geçen süre, zaman rölevesinden PFT olarak kaydedilir.
12. Deneyin sonunda, hava anahtarı kapatılır ve kabinin kapağı açılır. Sistemden çıkarılan filtrasyon silindiriyle toplama kolonu, bir sonraki ölçümlerde kullanılmak üzere temizlenirler.

Deney sırasında kullanılacak basınç değeri, önceden filtre kağıdı yerine yerleştirilen hava geçirmez plastik bir tabaka ile kalibre edilmektedir.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Yukarıdaki deney prosedürüne uygun olarak, basınçlı filtrasyon süreleri (PFT) ölçülen çamur örneklerinin sonuçları, değişkenlik gösterebilmektedir. Bu nedenle, aynı çamura ait PFT ölçümleri ortalama sabit bir değere ulaşmaya kadar, en az iki kere olmak üzere, tekrarlanmıştır. Aynı karıştırma koşullarında şartlandırılmalarına rağmen, çamur örneklerinin ölçülen PFT'lerindeki fark \pm % 10 kadar olabilmektedir. Bunun en önemli nedenleri şöyle sıralanabilir:

- Basınçta meydana gelebilecek küçük salınımlar,
- Şartlandırılmış çamurda, filtrasyon silindrine dökülürken meydana gelebilecek deformasyonlar,
- Şartlandırılmış çamurun suyunun bir kısmının yerçekimi etkisiyle, basınç altına girmeden, filtrasyon silindirinden drene olabilmesidir.

Bunların yanı sıra, deneysel hatalar da sonuçları etkileyebilmektedir.

Bir çamur örneğinin basınçlı filtrasyon süresi ölçülerek, aşağıda maddeler halinde sıralanmış olan konularda değerlendirme yapılabilmektedir:

- Çamurun polielektrolitle birlikte optimum karıştırma koşullarının belirlenmesi,
- En uygun polielektrolit türünün ve optimum polielektrolit dozajının bulunması,
- Değişik basınç değerlerinin çamurun suyunun alınabilirliğine etkilerinin gözlenmesi,
- PFT'nin direkt bağlantısı nedeniyle, çamurun özgül direnç (SRF) değerinin hesaplanabilmesi,
- Filtre preslerde, besleme çamuru ve kek konsantrasyonunun bir fonksiyonu olarak, oda genişlikleri (W) ile

tamamlama derecesine (D) bağlı sıkıştırma sürelerini veren performans kartlarının yapılabilmesi.

4.2.2. PFT Metre İle Kek retim Yöntemi

Kullanılan ekipman

PFT metrenin diğer bir kullanım alanı da, şartlandırılmış ęamur örneklerinden istenilen basınę altında kek üretimi yapılabilmesidir. Yukarıdaki bölümde PFT lęmnde kullanılan polielektrolit, karıştırıcı, PFT metre burada da aynen kullanılmaktadır. Kek retimi için süzüntü hacmi önemli olmadığından, bu aşamada zaman rlevesine ihtiyaç duyulmamaktadır.

Deneyin Anlamı

Suyunu alma ęalıřmalarında ulaşılmak istenen en önemli hedef, nihai uzaklaştırma amacına uygun kurulukta kek elde edebilmektir. Bu nedenle, özellikle sistem seğiminden önce, laboratuvar lęekte analiz edilen ęamurun ulaşabileceği kek konsantrasyonunun bilinmesi, önem taşımaktadır.

Analiz edilen ęamurun özelliklerine ve uygulanan basınca bağlı olarak, bu ęamurdan üretilen kekteki katı madde konsantrasyonu değişebilmektedir.

PFT metre içerisinde uygulanan yöntemle, laboratuvar lęekte istenilen basınę değerinde, değişik ęamurları test ederek, ulaşabilecekleri kek katı konsantrasyonu saptanabilmektedir. Bu deney yardımıyla, aynı ęamur örneğinin değişik basınęlı sistemlerdeki tepkisini, en önemlisi sıkışabilirliğini denemek ve buna bağlı olarak optimum basınę değerini seçmek olasıdır. Ayrıca, farklı sistemlere ait ęamurlar da, aynı deney seti içerisinde birbirleriyle karşılaştırılarak, hangi ęamur türünün belirli bir basınęlı suyunu alma tesisinde daha verimli olarak szlebileceği anlaşılabilmektedir.

Deneyin Girişimi - Dikat Edilecek Özellikler

Deneyin yapımı sırasında, herhangi bir madde girişimi söz konusu değildir. Ancak kek üretiminde filtrasyon silindiri içerisine yerleştirilen ve görevi hava akımının yarattığı basıncı çamura iletmek olan pistonun, aşırı bir sürtünmeyle karşılaşmadan kolon içinde rahatça kaymasını sağlamak için, silikon spreynin kullanılmasıdır. Filtrasyon silindiri çeperlerine sürülen silikon, piston hareketini kolaylaştıracağından, kek üretimi kolaylaşacaktır.

Deney süresinin uzun olması ve kek oluşumunun yaklaşık 24 saat süreceği göz önüne alınarak, kompresöre bağlı olan elektrik kesintileri düşünülmelidir.

Deney sonunda, filtre kağıdı üzerinde oluşan kekin silindirden çıkarılırken dağılmaması için, gereken özen gösterilmelidir. Filtre kağıdının oluşan kekten sıyırılması da dikkat gerektirmektedir. Çamura yapışabilecek filtre kağıdı parçacıkları, kekin kuru katı madde analizi sırasında pozitif hataya neden olabilmektedir.

Filtre kağıdı üzerinden çıkarılan kek örnekleri, buharlaşmaya neden olmadan, en kısa süre içerisinde katı madde analizi için etüve alınmalıdır.

Ayrıca deney başlamadan önce, istenilen basınç değeri PFT metre arkasında bulunan düğmeyle, plastik filtre parçası yardımıyla, kalibre edilmelidir.

Deneyin Yapılması

PFT metre yardımıyla, kimyasal olarak şartlandırılmış çamur örneğinden kek üretim yöntemi, aşağıdaki madde-lerde verilmiştir:

1. Filtrasyon silindiri üzerindeki hava deliği vidası çıkartılır.
2. Silindir yan çeperleri silikon sprej ile kayganlaştırılır. Piston, üzerindeki vakum kırıcı vida sıkıca kapanmış olarak, silindir içerisine yerleştirilir.
3. Silindir, piston yerleştirilmiş kısmı alt tarafa gelecek şekilde ters çevrilir ve diğer yüzey, üst kısmına kadar flöküle çamur örneği doldurulur.
4. Silindirin alt parçasına filtre kağıdı yerleştirildikten sonra, gövde üzerine oturtulur.
5. Filtrasyon silindiri, tekrar eski pozisyonuna getirilmek üzere ters çevrilir ve basınç kabini içerisindeki yerine yerleştirilir. Yuvaya tam olarak oturması için sıkıca itilir.
6. Süzüntü toplama kabı temizlenmiş olarak, basınç kabininin alt kısmındaki yerine yerleştirilir.
7. Basınç kabini ön penceresi kapatılır.
8. Hava anahtarı açılarak sisteme kompresör çıkışı basınçlı hava verilir ve basınç göstergesinden istenilen basınca ulaşıp ulaşılmadığı gözlenir.
9. PFT metre, filtrasyon sona erip uygun yapıda kek elde edilinceye kadar, yaklaşık 24 saat açık bırakılır.
10. Deney sonunda hava anahtarı kapatılır, pencere açıldıktan sonra filtrasyon silindiri dışarı alınır.
11. Piston üzerindeki vida gevşetilerek, piston ile kek arasında oluşabilecek herhangi bir emiş kaybı önlenir.

12. Silindirin alt parçası gövdeden ayrılır ve oluşan kek, filtre kağıdı üzerinden dikkatlice sıyrılır. Diğer parçalar, bir sonraki deney için temizlenir.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

PFT metre kullanarak yukarıdaki yöntemle elde edilen kekler, arıtım tesislerinde çamur suyunu alma ünitelerinden kaynaklanan keklerden farklılık göstermektedirler. Örneğin, uygulanan basıncın 690 KN/m^2 değeri, bir filtre presi karakterize etmektedir. Ancak bir PFT metrede 690 KN/m^2 değerinde üretilen kek ile, bir filtre presten aynı basınçta kaynaklanan kekin yapısı ve kuru katı madde konsantrasyonları aynı olmamaktadır. Bunun en büyük nedeni ise, filtre preste çamurun basınçla filtre odalarına pompalanması, ancak PFT metrede kek üreten bu basıncın piston ile sağlanmasıdır.

Ayrıca, filtre preste plakanın ortasından beslenen çamur, değişik yönlerde doğru bir dağılım göstermekte ve merkezden uzaklaşıp filtre malzemesine yakın kısımlarda daha konsantre hale gelmektedir. Bu hareket PFT metre içerisinde piston ile sağlanamadığı için, burada oluşan kekin katı madde konsantrasyonu, gerçek sistemden daha fazla olmaktadır. Bu nedenle, PFT metre ile üretilen kek konsantrasyonlarının, sistemler için aynen alınması uygun olmamaktadır. Bu değerler, çamur örneğinde artan basınçla birlikte konsantrasyonunda meydana gelecek değişimleri göstermesi ve ileride uygulanması düşünülen çamur suyunu alma sisteminin, basınç göz önüne alınarak seçilmesinde bir fikir vermektedir.

Aynı çamur örneğine ait değişik basınç değerleri arasında ($69-690 \text{ KN/m}^2$) üretilen keklerin katı madde konsantrasyonlarının belirlenmesiyle, aşağıdaki konularda değerlendirme yapılabilmektedir:

- Elde edilen kek konsantrasyonundaki artışa bağlı olarak kekin sıkışabilirliğinin bulunması,
- Filtre pres, bant filtre veya santrifüj sistemlerinin basınç değerlerinin karakterize edilerek, bunların içerisinden belirli bir çamur için, en uygun olanının seçilmesi.

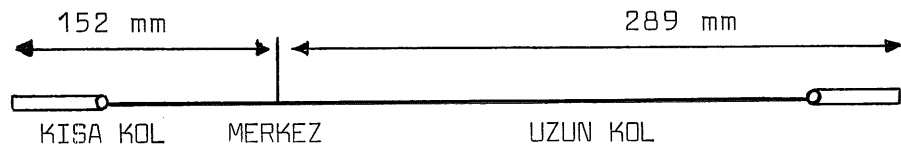
4.2.3. Santrifüj Deneyleri

Kullanılan Ekipman

Laboratuvar ölçekte, sıkışabilirlik indeksinin (n) belirlenebilmesi amacıyla, santrifüj deneyleri yapılmıştır.

Laboratuvarında kullanılan santrifüj, 354 ile 671 dev/dk olmak üzere, iki farklı devirde çalışabilmektedir. Santrifüj deneylerinde, 30 mm çapında ve 100 mm boyunda iki adet ölçekli şeffaf tüp kullanılmaktadır. Bu tüpler içerisine yerleştirilen çamur örnekleri, santrifüj merkezine olan uzaklıkları farklı iki eksende dönmektedirler. Laboratuvarında kullanılan SEPA santrifüjlerinin en önemli özelliği, iki farklı motor hızıyla dört ayrı santrifüjyel ivme yaratabilmektir. Meydana gelen ivmenin aralığı, 140-1110 m/sn²'de kalmaktadır. Santrifüj kollarının merkeze olan uzaklıkları, Şekil 4.5'de görüldüğü gibi, sırasıyla 152 mm ve 289 mm'dir.

Santrifüj üzerinde yer alan zaman rölevesi yardımıyla, dönme süresi ayarlanabilmekte ve süre sonunda, santrifüj otomatik olarak durmaktadır.



Şekil 4.5 Kullanılan Santrifüj Kolları

Deneyin Anlamı

Bu deney, değişik arıtma süreçlerinden kaynaklanan farklı karakterdeki çamurların, konsolidasyon özelliklerinin bir göstergesi olan, sıkışabilirlik indeksinin (n) bulunmasını sağlamaktadır.

Esas olarak, yoğunlaştırma tanklarının tasarımında kullanılan bu parametre, sıkıştırma kuvveti etkisi altında çamurların konsantrasyonlarında meydana gelen artışın bir ifadesidir.

Suyunu alma çalışmalarında, farklı ivmeler altında çamur örneklerinin konsolide olma yetenekleri, deney sonuçlarının grafiksel olarak değerlendirilmesi sonucunda anlaşılmaktadır.

Deneyin Yapılması

Sıkışabilirlik indeksinin belirlenmesine yarayan deney, laboratuarda aşağıdaki yöntemle uygun olarak yapılmaktadır:

1. Analizi yapılacak çamur örneği, iyice karıştırıldıktan sonra, şeffaf santrifüj tüpleri içerisine yaklaşık 7 ml olacak şekilde boşaltılır.
2. Santrifüj tüpleri uzun ve kısa koldaki yerlerine yerleştirilir ve santrifüjün kapağı kapatılır.
3. Santrifüj üzerindeki zaman rölevesi 90 dakikaya ayarlanıp, motor hızı 354 dev/dk'ya getirilir.
4. Süre sonunda santrifüj durduktan sonra, dışarıya alınan tüplerde sıvının ilk yüksekliği (h_0) ile sıvı - çamur ayırma seviyesi, yani konsolide olmuş çamur yüksekliği (h_a) belirlenir.
5. Aynı çamur örneği daha sonra, ikinci dönme hızı 671 dev/dk'da 1-4'cü adımlar tekrar edilerek deney

tamamlanır.

Sıkışabilirlik indeksi belirlenecek çamur örneğinin katı madde konsantrasyonu (C_0), deney başlangıcında standart metotlara [4] göre ölçülmelidir.

Deney Sonuçlarının Değerlendirilmesi

Sıkışabilirlik indeksinin geliştirilme esası, aşağıdaki denkleme dayanmaktadır:

$$\frac{(Ca)^n}{K} \wedge \frac{hoC_0G}{1000} \dots\dots (4.1)$$

Burada,

Ca : Konsolide olmuş çamurun ortalama konsantrasyonu (kg/m^3)

C_0 : Besleme çamur konsantrasyonu (kg/m^3)

ho : Çamurun ilk yüksekliği (m)

G : İvme (m/s^2)

K : Sıkışabilirlik katsayısı (kg/m^3)

n : Sıkışabilirlik indeksi

Logaritması alınarak,

$$\log Ca = \frac{1}{n} \log \frac{hoC_0G}{1000} + \log K \dots\dots (4.2)$$

Bu denklem, $\log Ca$ 'nın $\log hoC_0G$ 'ye karşı çizilmesi halinde elde edilecek doğrunun eğiminin, sıkışabilirlik indeksinin tersine eşit olduğunu göstermektedir.

Deney sonuçları, yukarıdaki esasa dayalı olarak, şu adımlarda değerlendirilmiştir:

1. Çamura ait hoC_0G değerleri hesaplanır.

$$\text{Kısa kol için } hoC_0G = 0.00156 \times (\text{hız})^2 \times C_0 \times ho \dots (4.3)$$

Uzun kol için $hoC_oG = 0.00306 \times (\text{hız})^2 \times C_o \times ho \dots (4.4)$
formülleri kullanılarak hoC_oG (N/m^2) olarak bulunur.

2. $Ca = C_o \frac{ho}{ha} \dots (4.5)$ formülünden, dört ayrı deneye ait ortalama konsolide çamur konsantrasyonları hesaplanır.

3. $\log Ca / \log hoC_oG$ oluşturulur.

4. Elde edilen doğrunun eğimi bulunur.

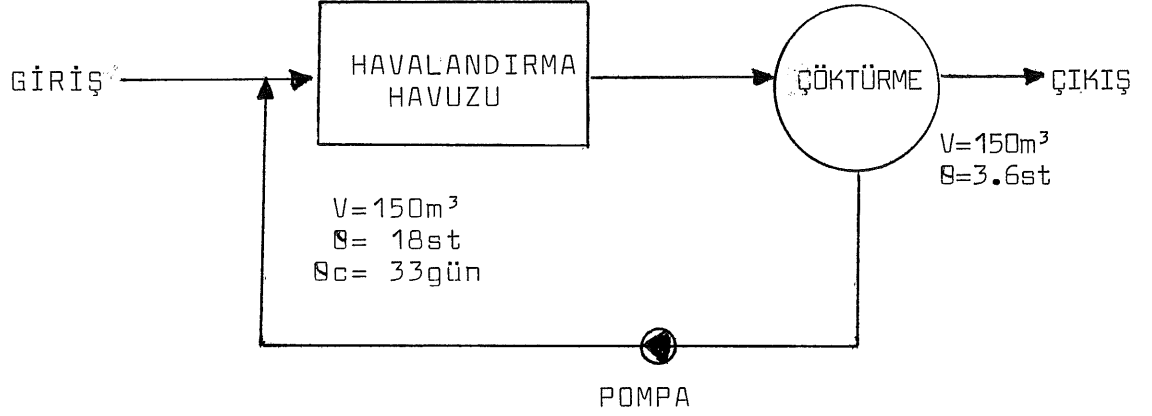
$n = 1/\text{tg}\alpha \dots (4.6)$ formülünden, sıkışabilirlik indeksi, çamur örneği için belirlenmiş olur.

4.3. Deney Programı

Aktif çamurun suyunu alma özelliklerinin, laboratuarda PFT parametresi ölçeğinde incelenebilmesi amacıyla, Good-Year Lastikleri T.A.Ş.'nin İzmit Fabrikası evsel atıksu arıtma tesisi bünyesinden, iki ay süreyle çamur örnekleri alınmış ve analizleri yapılmıştır. Uzun havalandırma prensibine dayalı olarak çalışan tesiste, herhangi bir çamur kurutma veya uzaklaştırma ünitesi bulunmamaktadır.

Çamur örnekleri, çamur çöktürme tankı çıkışı geri devir pompasından, herhangi bir zaman periyodu gözönüne alınmadan, kapma numune esasına dayalı olarak, en az 15 litre olacak şekilde alınmıştır. Sistemin genel akım şeması ve tasarım kriterleri ile boyutları Şekil 4.6'da verilmiştir.

Tasarımında hidrolik bekletme süresi 18 saat ve çamur yaşı 33 gün olan tesiste, çamur atma periyodundaki düzensizliklerden dolayı, çamur özellikleri değişkenlikler göstermektedir. Özellikle, sistem bünyesinde hesaplanan çamur yaşının, 40-50 gün arasında değiştiği



Şekil 4.6 Good-Year Evsel Atıksu Tesisi Akım Şeması

görülmüştür. Bununla beraber, zaman zaman çöktürme tabanında meydana gelen, havasız koşullara dayalı olarak oluşan, gaz çıkışı sistemi olumsuz etkilemekte ve sistemden çamur kaçırmaktadır.

Böylesine olumsuz koşulların yaşandığı ve çamur arıtım sistemi olmayan tesiste, ileriye yönelik yapılacak çalışmalara yardımcı olabilecek şekilde analizler yönlendirilmiştir.

Sistem içerisinde alınan çamur örneklerinin katı madde analizleri, standart metoda uygun olarak, 50 ml homojen karışımın 105°C etüvde 24 saat kurutulması ve tartılması esasıyla yapılmıştır. Bu yöntemle ölçülen çamur toplam katı madde konsantrasyonu aynı örneğin santrifüjlenmesi sonucunda, elde edilecek süzütüsünün toplam katı madde konsantrasyonu arasındaki fark, çamurun askıda katı madde konsantrasyonu olarak alınmıştır.

Bu yöntemeye dayalı olarak, iki ay içerisinde alınan örneklerde 18.9, 30 ve 40 kg/m³ olmak üzere üç ayrı aktif çamur askıda katı madde konsantrasyonu ölçülmüştür. Bu üç ayrı değer, aynı çamurun değişik zamanlarda alınan

örneklerinin konsantrasyonu olmaktadır. İlk iki konsantrasyon, çamur geri devir hattı geri devir pompası çıkışından alınan örneklere ait olurken, 40 kg/m³ değeri çöktürme tankı girişi dağıtım silindirinde biriken ve yoğunlaşan çamurun analizinden bulunmuştur.

Deneysel çalışmanın amacına uygun olarak, aynı çamura ait üç değişik konsantrasyon analizlerde kullanılarak, aktif çamur konsantrasyonlarının PFT metre ile suyunu alma çalışmalarına etkisi incelenmiştir.

Yukarıdaki bölümde tanımlanan deney yöntemlerine uygun olarak, tesisten getirilen çamur örneklerinin analizleri en geç 72 saat içerisinde tamamlanmıştır. İlk önce katı madde analizi yapılan çamur örneğinin PFT metre ve santrifüj deneyleri bitirildikten sonra, beş ayrı basınç altında iki PFT metre yardımıyla, üç gün içerisinde kek üretimleri yapılmıştır. Birinci konsantrasyonlar için deney programı tamamlandıktan sonra, ikinci çamur konsantrasyonu deneyleri yapılmış ve bunu üçüncüsü izlemiştir.

Çamur özelliklerinin bozulmaması için örnekler, 4^oC'da soğutucuda saklanıp, analiz öncesinde oda sıcaklığına gelmesi beklenmiştir.

Her üç konsantrasyondaki çamur örnekleri, aşağıdaki deney programına uygun olarak analiz edilmişlerdir:

1. Getirilen çamur örnekleri, içlerindeki dane yapısı bozulmayacak şekilde, bir kaptan diğerine boşaltmak kaydıyla karıştırılır ve katı madde analizi için, bir kısmının tartımı yapılarak etüve kurumaya bırakılır.
2. Diğer taraftan, optimum karıştırma koşullarının belirlenmesi için, çamur örneği değişik hız ve sürelerde

kariştirilarak PFT'si ölçölür.

3. Optimum kariştırma koşulları belirlenen çamur için, optimum polielektrolit dozajının saptandığı PFT deneyleri yapılır ve değişik hacimlerde çamura ilave edilen polielektrolitlere bağlı olarak bulunan PFT değerleri kayıt edilir.
4. Bu deneyler devam ederken, homojen olarak kariştırılmış çamur örnekleri, sıkışabilirlik indeksinin belirlenmesi için 90 dakikalık sürelerde iki ayrı dönme hızında santrifüjlenirler.
5. Çamur örneğinin değişik basınç değerleri (69-690 KN/m²) altında PFT değerleri ölçölür ve

$$\frac{SRF}{PFT} = 14.4 \times 10^6 \frac{P}{C_0} \dots\dots (4.7)$$

bağintısı yardımıyla,özgül direnç hesaplanır.

6. Deney programının son aşaması, 69-690 KN/m² aralığında beş farklı basınç değerinde kek üretimidir. Bu deney için iki PFT metre,

- Birinci gün 69 KN/m² ve 690 KN/m²'de,
- İkinci gün 207 KN/m² ve 552 KN/m²'de,
- Üçüncü gün 483 KN/m²

basınç değerlerinde 24 saat açık bırakılırlar. Süre sonunda oluşan kekler, katı madde analizi için, etüvde kurutulurlar.

Yukarıdaki deney programı düzeni içerisinde, 18.9, 30 ve 40 kg/m³ konsantrasyonlarındaki aktif çamur örneklerinin, daha önce açıklanan deney yöntemlerini kullanarak, analiz sonuçlarının değerlendirme esasları şunlandır:

1. 500-1000 ve 1700 dev/dk hızlarında ve değişik sürelerde karıştırılan çamur örneklerinin ölçülen PFT değerleri, PFT/t ekseninde yerleştirilerek optimum karıştırma koşulları hız ve süre olarak bulunur.
2. Değişik polielektrolit hacimlerinde, daha önce belirlenmiş optimum karıştırma koşulları sabit tutularak ölçülen PFT değerlerini, bir eksene ve polielektrolit dozajını diğer eksene koyarak elde edilen doğrudan, optimum polielektrolit dozajı belirlenir.
3. Santrifüj deneylerinden elde edilen sonuçlardan, Ca/hOC_0G ekseninde işaretlenen doğrunun sıkışabilirlik indeksi belirlenir.
4. Değişik basınç değerleri altında ölçülen PFT değerlerinden hesaplanan özgül direncin (SRF), basınca karşı çizilmesi sonucunda elde edilen doğrunun eğiminden, çamur sıkışabilirlik katsayısı bulunur.
5. Değişik basınç değerleri altında üretilen kek konsantrasyonları (Ca) ise, Ca/P ekseninde işaretlenerek, değişik basınçlı filtrasyon sistemleri benzetilerek yaratılan basınç değerlerinde, kek katı madde oranındaki artış bulunur.

Bütün bu değerlendirme, üç değişik konsantrasyon için yapılarak, basınçlı filtrasyon sistemlerinde besleme çamuru konsantrasyonunun sistem verimi üzerine etkisi gözlenebilmiştir.

BÖLÜM 5 DENEYSEL BULGULAR VE DEĞERLENDİRİLMESİ

Çalışmanın bu bölümünde, dördüncü bölümde açıklanan deney programlarına uygun olarak, yapılan deneysel çalışmaların sonuçları ve değerlendirilmesi verilmiştir. Burada, çamur suyunu alma özelliklerinin karşılaştırılmasında, geleneksel filtrasyon parametresi özgül direnç (SRF) yerine, yeni geliştirilmiş ve henüz geçerliliği veri yetersizliği nedeniyle tartışmaya açık olan PFT parametresi kullanılmıştır. Aktif çamurun üç farklı konsantrasyonunun suyunu alma özelliklerine etkisi araştırılıp, sonuçlar polielektrolit dozajı, sıkışabilirlik indeksi ve basınç değişimlerine etkileri olmak üzere, üç bölümde değerlendirilmiştir. Elde edilen sonuçlar, esas olarak PFT teorisinde verilen kriterlerle karşılaştırılıp, teorinin geçerliliği araştırılmıştır.

5.1. Polielektrolitle Yapılan Kimyasal Şartlandırmanın PFT Üzerine Etkisi

Çamur suyunu alma sistemleri öncesinde yapılan şartlandırma işleminin başarılı olması, kullanılan kimyasal madde türüne, miktarına ve karıştırıcının özelliklerine bağlıdır.

Bu çalışmada, basınçlı bir suyunu alma ünitesi gibi düşünülen PFT metre öncesinde, çamur şartlandırılması yapılarak, sistemi etkileyen sonuçlar verilmiştir.

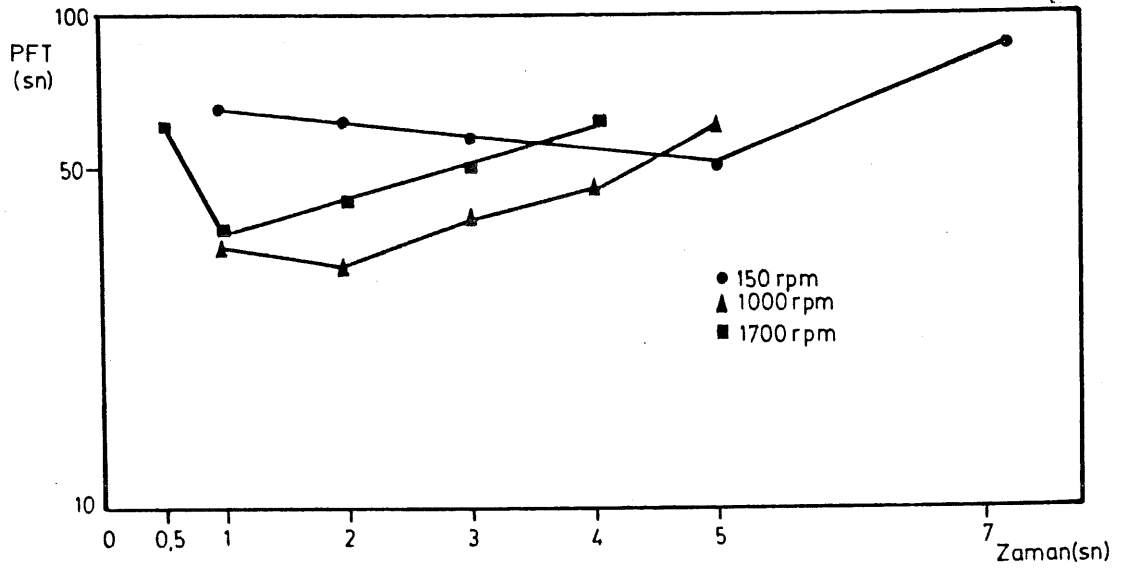
5.1.1. Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi

Çamur suyunu alma sistemlerinden hangisi seçilirse seçilsin, (santrifüj, filtre pres, vakum filtre, bant filtre) filtrasyon öncesinde yapılacak polielektrolit ile uygun şartlandırma, filtrasyon hızını arttırıp verimi olumlu olarak etkilemektedir.

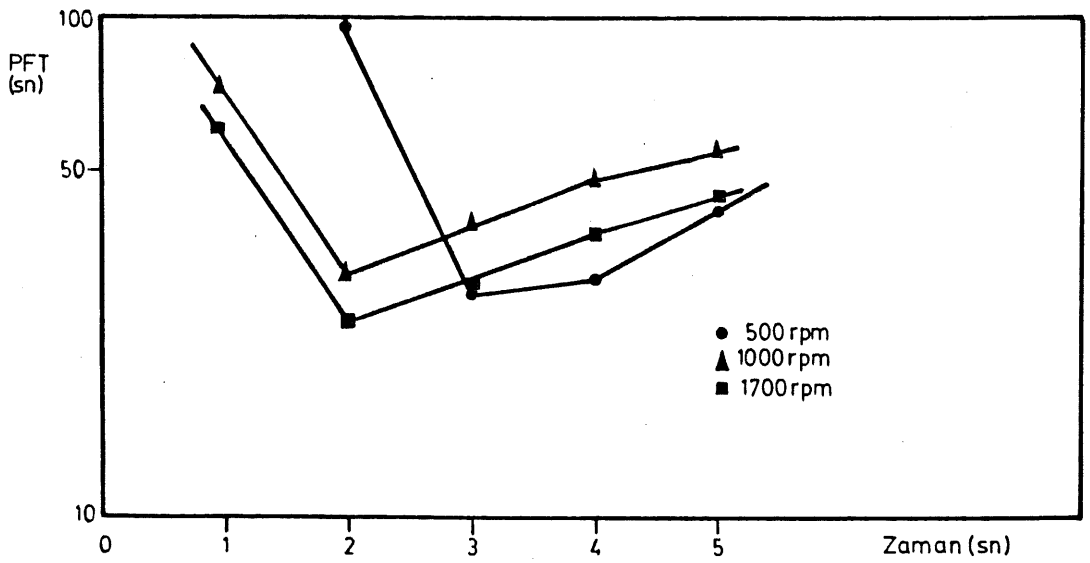
Aktif çamurun 18.9, 30 ve 40 kg/m³'lük konsantrasyonları için en uygun karıştırıcı hızı ve süresinin seçiminde, 552 KN/m² (80 psi) altında yapılan PFT ölçümleri kullanılmıştır. Yüksek molekül ağırlık ve kationik aktiviteye sahip Zetag 87 polielektrolit kullanarak, üç ayrı çamur konsantrasyonu için elde edilen sonuçlar, sırasıyla Şekil 5.1, Şekil 5.2 ve Şekil 5.3'de görülmektedir.

Şekillerden de görüldüğü gibi, üç farklı karıştırıcı hızında (500-1000-1700 dev/dk) ve değişik sürelerde polielektrolit ile karıştırılan çamur örneklerine ait PFT değerleri, maksimumdan minimuma doğru azalmakta ve belirli bir noktadan sonra, tekrar artmaya başlamaktadır. Bu artış ve azalmalar, karıştırıcı hızı ve sürelerine göre değişkenlikler göstermektedir. Sabit bir karıştırma hızı altında, ilave edilen polielektrolit çamur dane boyutunda değişiklik yapmakta ve gerçekleşen yumaklaşmayla irileşen daneler, sularını daha kolay bırakmaktadır. Bunun sonucunda, PFT değerlerinde bir düşüş görülmektedir.

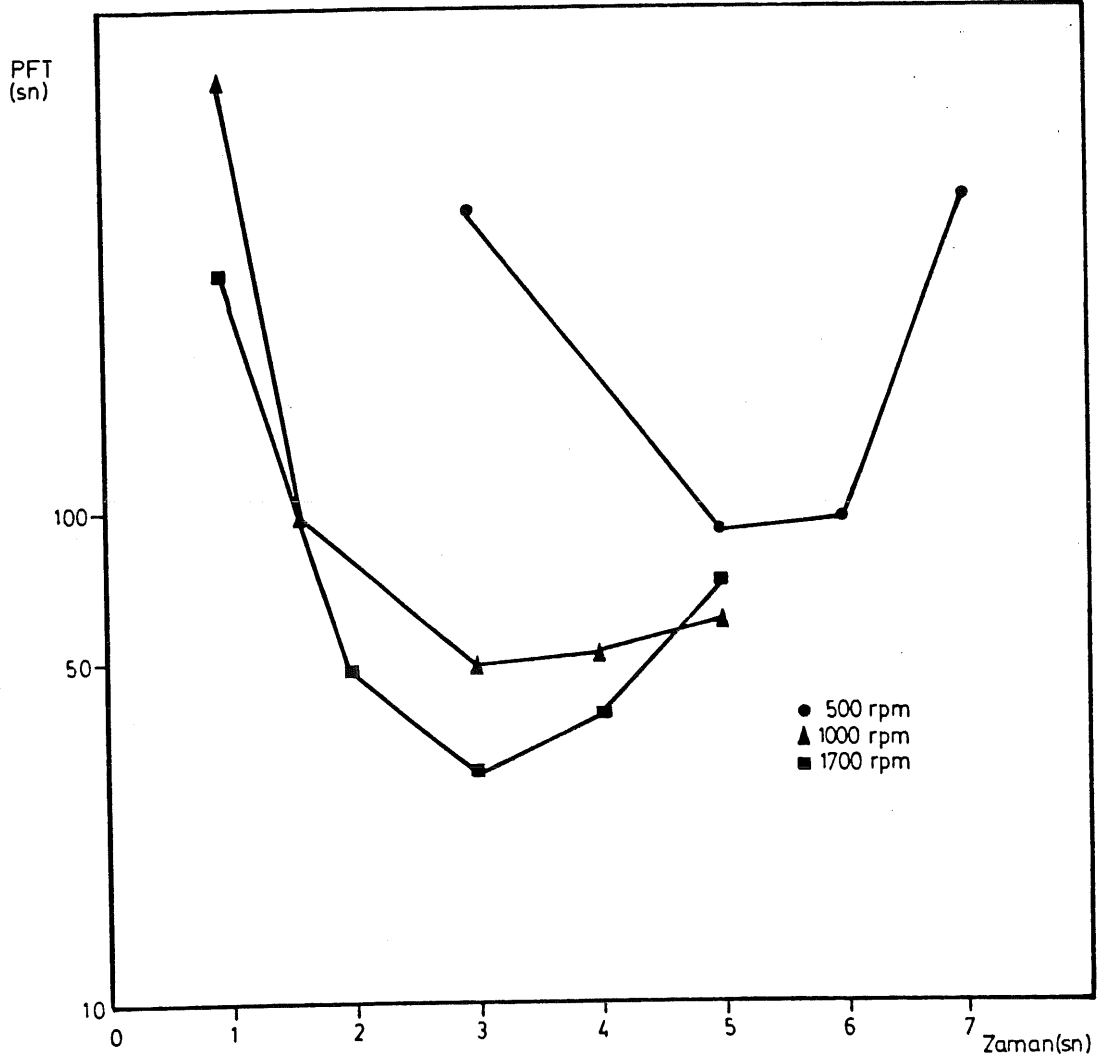
Daha sonra, karıştırma süresinin artmasıyla ortaya çıkan kesme kuvvetlerinin, oluşan yumakları bozma ve dağıtma mekanizması mevcuttur. Bu durumda da, dağılan yumakların suyunu bırakması güçleşmekte ve PFT değerleri artmaktadır. Üç farklı karıştırma hızı altında da, en düşük PFT değerini veren karıştırma süreleri bulunmaktadır. Ancak, belirli bir çamur konsantrasyonu için, en



Şekil 5.1 Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi
(C_0 :18.9 kg/m³, Dozaj:1.05 kg/t.SS, 287-1 g/L)



Şekil 5.2 Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi
(C_0 :30 kg/m³, Dozaj:2 kg/t.SS, 287-1 g/L)



Şekil 5.3 Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi
(C_0 :40 kg/m³, Dozaj:2.5 kg/t.SS, 287-1 g/L)

düşük PFT değerini veren karıştırıcı hızı ile karıştırma süresinin bileşimi, optimum karıştırma süresini vermektedir. Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'e bağlı olarak, farklı çamur konsantrasyonları için bulunan optimum karıştırma koşulları, aşağıdaki tabloda verilmiştir (Tablo 5.1).

Tablo 5.1 Çamur Konsantrasyonları İçin Optimum Karıştırma Koşulları

Çamur Konsantrasyonu (kg/m ³)	Optimum Karıştırma Koşulları	PFT Değeri (sn)
18.9	1000 dev/dk-2 sn	33
30	1700 dev/dk-2 sn	25
40	1700 dev/dk-3 sn	30

Şekil 5.1, 5.2 ve 5.3'ten görüleceği gibi, artan çamur konsantrasyonlarının artan karıştırıcı hızı ve sürelerinde, çamur daneleri üzerindeki kesme kuvvetinin etkisi daha fazla hissedilmekte ve deformasyonlar artmaktadır. Şekil 5.3'te 4 ve 6 saniyelerden sonra, doğruların eğimindeki keskin artış, bu deformasyonların bir göstergesidir.

Sonuçlar bir bütün olarak ele alındığında, her üç çamur konsantrasyonu için de, 500 dev/dk'lık karıştırıcı hızı uzun homojen çamur karışımı ve yeterli boyutta yumak oluşumuna yeterli olmamaktadır. Bunun yanında, 1000-1700 dev/dk homojen bir karışım elde etmek için daha uygun olmaktadır.

Özellikle polielektrolit ile yapılan şartlandırmada oluşan çamur yumakları, inorganik kimyasalların (alum, kireç vb.) oluşturduğu yumaklara göre daha dayanıksızdır. Bu nedenle, filtrasyon öncesinde uygulanacak şartlandırma işleminden istenilen verimin elde edilebilmesi için, kullanılacak karıştırıcı tipi ve karışım mekanizması özenle seçilmelidir. Yumaklaşma işlemi kontrol eden mekanizma, karıştırıcı tarafından tüketilen enerjiden çok, kap çevresinde dönen sıvının toplam hacmi olmaktadır.

Water Research Center tarafından geliştirilen ve ideal bir çamur/polielektrolit karışımı için önerilen "Optiflok Mixer" sistemi (Ek 2)'de verilmiştir.

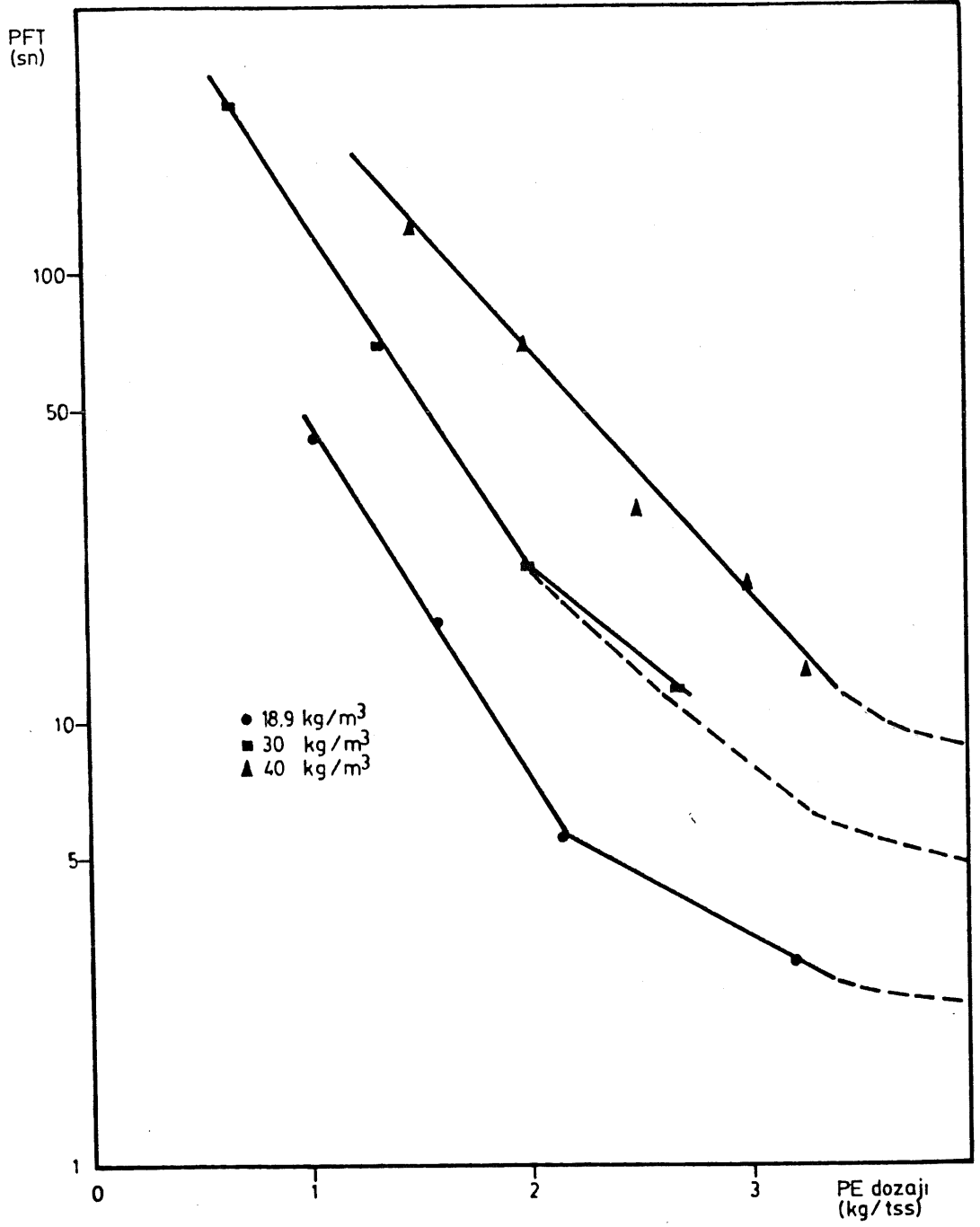
5.1.2. Optimum Polielektrolit Dozajın Belirlenmesi

Her çamur konsantrasyonu için, optimum karıştırma koşulları belirlendikten sonra, optimum polielektrolit dozajının bulunmasına yönelik ikinci set PFT analizleri yapılmıştır. Çamur yumaklaşmasının uygun olarak gerçekleştirilebilmesi için, optimum polielektrolit dozajının belirlenmesi büyük önem taşımaktadır. Polielektrolit dozajı, sistem için fiziksel olduğu kadar, ekonomik yönden de analiz edilmelidir. Belirli bir çamur için gereğinden fazla yapılan polielektrolit ilavesi, ekonomik yönden önemli yükler getirmektedir.

Çamura eklenen polielektrolit miktarının, belirli bir optimum değerden az olması durumunda, gerekli yük nötralizasyonu gerçekleşmeyerek yumaklaşma derecesi düşük kalacak ve çamurun basınçlı filtrasyon hızı, istenilen değere ulaşamayacaktır. Tam tersi durumda, aşırı miktarda polielektrolit ilavesi, filtrasyon hızını fazla etkilemeyecek ve ekonomik olarak gereksiz bir harcama yapılacaktır.

Eldeki çamur örneklerine ilişkin, yapılan deney sonuçları Şekil 5.4'te verilmiştir.

Deneylerde hiç bir pH ayarlaması yapılmadan, polielektrolit ilavesinden sonra, PFT'ler ölçülmüştür. Şekilden de anlaşılacağı üzere, çamur örneklerinin üçü için de, polielektrolit dozajı arttıkça PFT değerleri azalmaktadır. PFT'deki bu düşüş, artan çamur



Şekil 5.4 Polielektrolit Dozajının PFT Üzerine Etkisi

konsantrasyonları için daha fazla olmaktadır.

Besleme çamuru konsantrasyonundaki değişim fiziksel ve reolojik özellikleri etkilemediğinden, ölçülen PFT değerlerine göre yapılan değerlendirme, çamurun suyunun alınabilirliğiyle doğrudan ilgili olmaktadır. Besleme çamuru konsantrasyonu arttıkça, aynı PFT değerini elde etmek için, uygulamak gereken polielektrolit dozajı da artmaktadır. Örnek olarak PFT=100 sn değerini elde etmek için, uygulanması gerekli polielektrolit dozajı, 18.9 kg/m³, 30 kg/m³ ve 40 kg/m³ çamur konsantrasyonlarına göre, sırasıyla 0.6 kg/t.SS, 1.17 kg/t.SS ve 1.72 kg/t.SS olarak okunmaktadır.

Elde edilen grafikten, 18.9 kg/m³ ve 30 kg/m³ konsantrasyonları için, polielektrolit dozajının PFT üzerine etkisinin paralel olduğu görülmektedir. Her iki eğride de, PFT değeri polielektrolit dozajına bağlı olarak, iki farklı eğimle azalmaktadır. Yaklaşık olarak 2 kg/t.SS dozajına kadar PFT değeri aynı eğimle azalırken, bu noktanın üzerinde, 30 kg/m³ konsantrasyonlu çamurdaki dozaja bağlı düşüşün daha fazla olduğu görülmektedir.

Düşük besleme konsantrasyonlarında (18.9 kg/m³ için) polielektrolit dozajını arttırmak ekonomik olmamaktadır. Bunun nedeni ise, düşük konsantrasyonlarda çamurun PFT değerinin düşük olması, başka bir deyimle, suyunu alma özelliklerinin iyi olmasıdır. 18.9 kg/m³ konsantrasyonundaki çamur için, ekonomik polielektrolit dozajı 1.59 kg/t.SS olarak alınmıştır. Bu noktaya ait PFT değeri 18 sn'ye eşit olup, uygun bir filtreye elvermektedir. Dozajın daha fazla arttırılmasının, pratik olarak, filtrasyon hızını etkilemediği kabul edilmiştir.

30 kg/m³ çamur filtrasyonu için ise, optimum polielektrolit dozajı, 2.0 kg/t.SS olarak belirlenmiştir.

Çamur konsantrasyonunun artan değerlerinde, ölçülen PFT değerleri de yüksek olduğundan, polielektrolit dozajındaki artışın etkisi daha belirgin olarak sonuçlara yansımaktadır. 40 kg/m³ konsantrasyonundaki çamur örneğinde polielektrolit dozajında yapılacak iki kat artışın, diğer çamur konsantrasyonlarından farklı olarak, PFT'yi on kere düşürdüğü görülmektedir. Bu durumda, optimum polielektrolit dozajı seçimi daha da önem kazanmaktadır. Ölçülen PFT değerlerine bağlı olarak, 40 kg/m³ konsantrasyonundaki çamur örneği için, 2.5 kg/t.SS optimum polielektrolit dozajı olarak seçilmiştir.

Optimum karıştırma koşulları altında, üç farklı çamur konsantrasyonu için seçilen optimum polielektrolit dozaj değerleri, kek üretimi için kullanılmıştır.

Optimum karıştırma koşullarının belirlenmesine ve üç çamur için kullanılan polielektrolit dozajlarına bağlı sonuçlar Tablo 5.2, Tablo 5.3 ve Tablo 5.4'te verilmiştir.

Tabloya bağlı olarak ortaya çıkan sonuçlar, aşağıda belirtilmiştir:

- Besleme çamuru konsantrasyonundaki artan değerle birlikte, çamurun PFT'si artmaktadır.
- Besleme çamuru konsantrasyonu arttıkça, uygun bir filtrasyon için uygulamak gereken polielektrolit dozajı da artmaktadır.

Tablo 5.2 Bir No.lu Aktif Çamur Setinin Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi
($C_0=18.9 \text{ kg/m}^3$)

Test	Polielektrolit Dozajı (kg/t.SS)	Karıştırıcı		
		Hızı (rpm)	Süresi (sn)	PFT (sn)
1-5	1.05	500	1	66
			2	62
			3	57
			5	52
			7	87
6-10	1.05	1000	1	35
			2	33
			3	39
			4	45
			5	60
11-15	1.05	1700	0.5	62
			1	38
			2	44
			3	49
			4	63

Tablo 5.3 İki No.lu Aktif Çamur Setinin Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi
($C_0=30 \text{ kg/m}^3$)

Test	Polielektrolit Dozajı (kg/t.SS)	Karıştırıcı		
		Hızı (rpm)	Süresi (sn)	PFT (sn)
1-4	2.0	500	2	96
			3	28
			4	30
			5	44
			5-9	2.0	1000	1	74
2	31			
3	39			
4	49			
5	55			
10-14	2.0	1700	1	60
			2	25
			3	30
			4	37
			5	46

Basınç değeri: 80 psi

Tablo 5.4 Üç No.lu Aktif Çamur Setinin Optimum Karıştırma Koşullarının Belirlenmesi
($C_0 = 40 \text{ kg/m}^3$)

Test	Polielektrolit Dozajı (kg/t.SS)	Karıştırıcı		
		Hızı (rpm)	Süresi (sn)	PFT (sn)
1-4	2.5	500	3	141
			5	90
			6	95
			7	142
5-10	2.5	1000	1	172
			2	98
			3	49
			4	51
			5	58
11-15	2.5	1700	1	130
			2	47
			3	30
			4	38
			5	73

Aktif çamurun 40 kg/m^3 konsantrasyonunda, özellikle düşük karıştırma sürelerinde, PFT en yüksek değerini almaktadır. Tabloda görülen polielektrolit dozajları, optimum karıştırma koşullarının belirlenmesinde kullanılan değerlerdir. Kek üretimi ve basınç deneyleri için, çamur şartlandırılmasında, daha önce bulunan optimum polielektrolit dozajları kullanılmıştır.

5.2. Sıkışabilirlik İndeksinin Çamur Konsolidasyonu Üzerine Etkisi

Basınçla PFT ölçümlerinden bağımsız olarak yürütülen santrifüj deneyleriyle, üç ayrı konsantrasyondaki aktif çamurun konsolidasyon özellikleri belirlenmiştir.

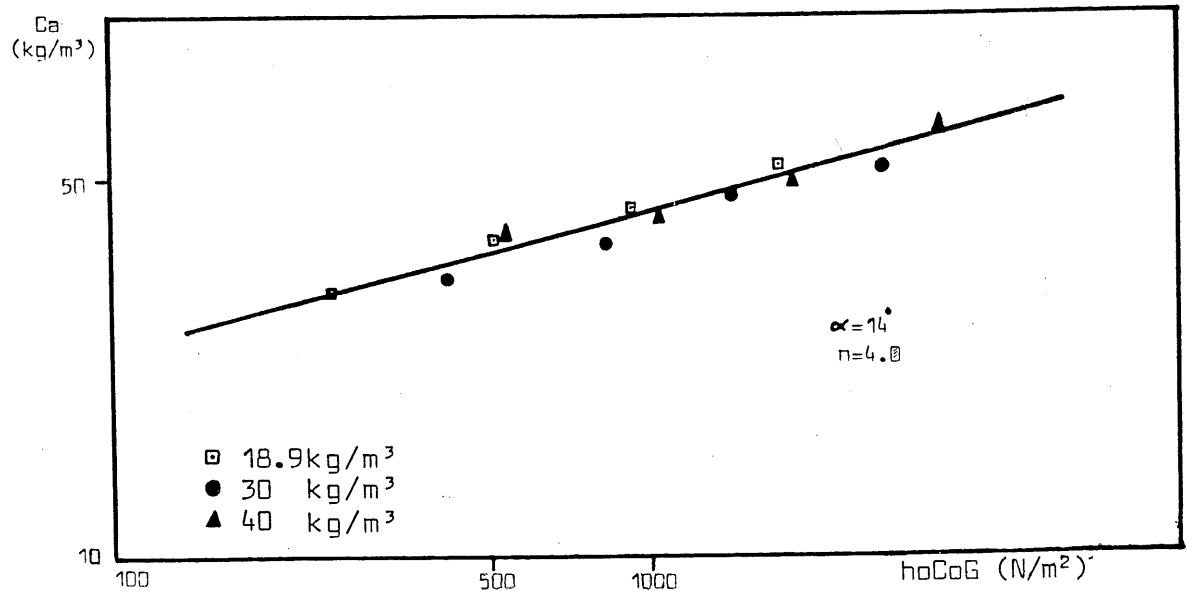
Genel olarak, konsolidasyon özellikleri kötü olan aktif çamur örneklerinin, Bölüm 4.2.2'de verilen deney yöntemi-ne göre bulunan sıkışma indeksleri Tablo 5.5'de verilmiştir.

Tablo 5.5 Çamur Konsantrasyonlarına Bağlı Olarak Bulunan Sıkışabilirlik İndeksleri

C_0 (kg/m ³)	$n=1/\text{tg}\alpha$	α (°)
18.9	4.0	14.0
30	3.89	14.4
40	3.85	14.5

Tablodan görülebileceği gibi, aktif çamurun artan konsantrasyonları için, konsolidasyon özellikleri yaklaşık olarak aynı kalmaktadır.

Çamur sıkışabilirlik indeksinin değerleri, çamur konsantrasyonundaki artıştan önemli derecede etkilenmemektedir. Aynı çamurun farklı konsantrasyonu için çamur özellikleri değişmediğinden, elde edilen sıkışabilirlik indeksi ortalama değeri 4.0 alınmıştır. Şekil 5.5'te değişik çamur konsantrasyonları için bulunan ortak eğri görülmektedir.



Şekil 5.5 Değişik Aktif Çamur Konsantrasyonları İçin Sıkışabilirlik İndeksinin Bulunması

Sonuç olarak, belirli bir çamurun sıkışabilirlik indeksi, çamur konsantrasyonundan bağımsızdır.

Besleme çamurunun 40 kg/m^3 değerinde, dört ayrı santrifüjyel ivme sonucunda elde edilen çamurun katı madde konsantrasyonu, diğer iki çamura oranla, daha yüksektir. Bu da, giriş konsantrasyonu yüksek olan çamurlardan daha yoğun kekler elde edilebileceğinin bir ifadesi olmaktadır. Besleme çamur konsantrasyonlarına bağlı olarak, çamur örneklerinden elde edilen konsolide çamur konsantrasyonları, $31.5-66.3 \text{ kg/m}^3$ aralığında değişmektedir. Bu konsantrasyonlar, $258-3747 \text{ N/m}^2$ basınca karşı gelen h_{OC} değerlerinde bulunmuştur.

Genellikle zor yoğunlaşma özelliği gösteren ve bu nedenle, çözülmüş hava flotasyonu ile yoğunlaştırılması önerilen aktif çamurun, diğer çamur türleriyle birlikte, literatürde bulunan sıkışabilirlik indeksi değerleri Tablo 5.6'da verilmiştir [46].

Tablo 5.6 Bazı Çamur Türlerine Ait Sıkışabilirlik İndeksi Değerleri

Çamur Türü	Sıkışabilirlik İndeksi (n)
Ön çöktürme veya humus	3-5
Aktif çamur	4-6
Çürütülmüş çamur	4-5

Tablo 5.6'da verilen değerlere bağlı olarak, bu çalışmada bulunan sıkışabilirlik indeksi değerleri, aralığın alt sınırında kalmaktadır. Tanımı gereği, sıkışabilirlik indeksinin artan değerleri, elde edilen eğrinin düşük eğiminin bir ifadesi olmaktadır. Bu nedenle,

deneysel çalışmalarda kullanılan aktif çamurun sıkışabilirliği yüksek bulunmuştur.

Konsolidasyon, çökelmenin bağımsız yumakları bir araya getirmesiyle başlayan bir işlemdir. Engellenmiş çökeltme ile, konsolidasyon arasındaki geçiş bölgesi sıkışma noktası olup, burada çamur konsantrasyonu 15 kg/m³ dolayındadır. Sıkışma noktası ötesindeki bir yoğunlaştırma için, yumak içerisindeki serbest suyun olduğu kadar, bağlı suyun da yer değiştirmesi gerekmektedir. Bir araya gelen yumaklar, yoğunluktaki artış nedeniyle, sistem içerisinde dip kısma doğru toplanarak bir "çamur yatağı" (sludge blanket) meydana getirmektedirler. Bu oluşan çamur yatağı bünyesinde üst üste dizilen yumakların alt tabaka üzerinde yaratacağı sıkıştırma kuvvetleri, yumakların içerisindeki bağlı suyun (bound water) hareketini sağlayacağından, çamur konsolidasyonu başlamaktadır [46].

Suyunu alma sistemleri öncesinde, çamur konsantrasyonunu arttırmak için, uygulanan konsolidasyon işlemi, çamur filtrasyonunun verimi açısından da önem taşımaktadır. Sıkışabilirlik indeksi uygun aralıkta olan çamurların, basınçlı sistemlerde sıkıştırılması kolaylaşmaktadır.

5.3. Basınç Değişimlerinin Çamur Suyunu Alma Özelliklerine Etkisi

Çamur suyunu alma çalışmalarında, çamurun fiziksel özelliklerine bağlı olarak sistem seçimi büyük önem taşımaktadır. Sistem seçiminde göz önüne alınması gereken önemli parametrelerden bir tanesi de basınçtır. Değişik işletme basıncı aralıklarında çalışan filtre pres, santrifüj ve bant filtre preslerde çamurun suyunun alınması farklı özellikler gösterebilmektedir [36].

Çamur arıtım çalışmalarında, günlük çamur üretimi ve bu çamurun fiziksel özellikleri belirlendikten sonra suyu alınacak çamur türüne en uygun sistemi seçmek, işletme ve ekonomik nedenlerden ötürü, önem taşımaktadır. Bu sebeple, deneysel çalışmanın bu kısmında üç ayrı konsantrasyondaki aktif çamur örneklerinde değişen basıncın, PFT, çamur sıkışabilirliği ve kek katı madde oranı üzerine etkisi değerlendirilmiştir.

5.3.1 Basıncın PFT Üzerine Etkisi

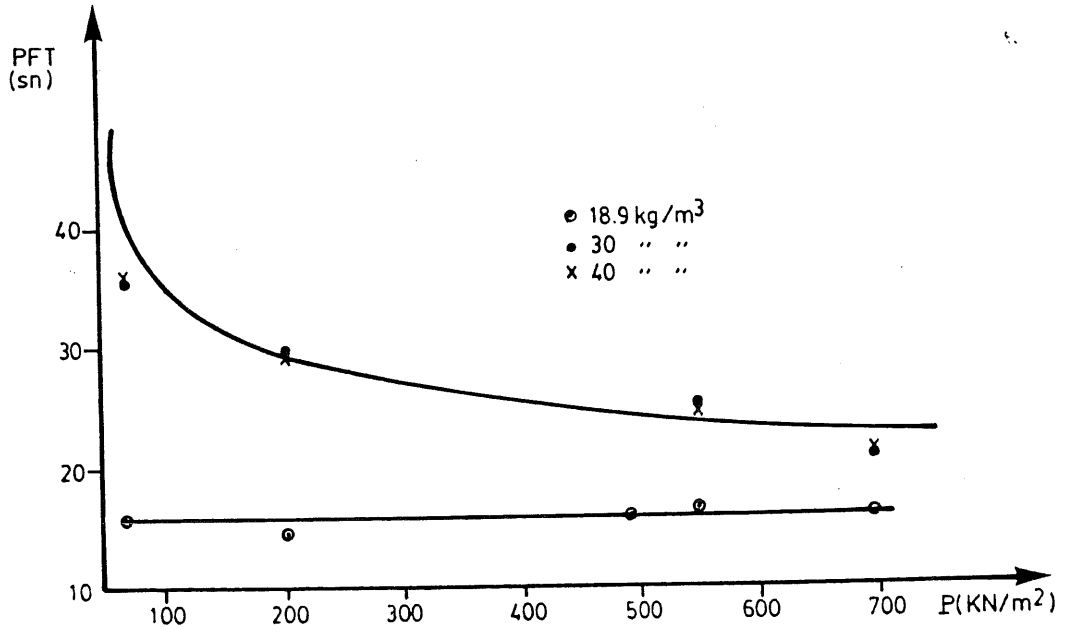
Optimum polielektrolit dozajıyla ve optimum karıştırma koşullarında şartlandırılan çamur örneklerinin, PFT metre ile beş farklı basınç değerinde ölçülen PFT'leri Tablo 5.7'de verilmiştir.

Tablo 5.7 Farklı Konsantrasyondaki Aktif Çamur PFT'lerinin Basınçla Değişimi

PFT (sn) ↓ C ₀ kg/m ³ →	Basınç (KN/m ²)				
	69	207	483	552	690
18.9	16	14	17	18	17
30	35	29	28	25	21
40	36	28	25	24	22

Tablodan da görüldüğü gibi, belirli bir çamur konsantrasyonuna ait PFT değerleri, basınçla çok az değişmektedir. Tabloda verilen sonuçlar, çok sayıda yapılan PFT ölçümlerinin ortalamasını göstermektedir.

Bu sonuçlara göre elde edilen doğrular, Şekil 5.6'da görülmektedir. Şekilden de anlaşılacağı üzere, yüksek konsantrasyonlar için PFT basınçla eksponansiyel olarak



Şekil 5.6 PFT'nin Basınçla Değişimi

azalırken, düşük çamur konsantrasyonu için (18.9 kg/m³) basınçtan etkilenmemektedir.

Bulunan bu sonuç, geliştirilen PFT teorisiyle tamamen uyum içerisinde. Üçüncü bölümde verilen (3.4 no.lu) denklemde.

$$PFT = k_2 P^{(1-s)}$$

Özellikle yüksek sıkışabilirlikleri olan ($s=1.0$) organik çamurlarda, PFT basınçtan bağımsız kalmaktadır. Sıkışabilirlik katsayısının (s) 1.0'den küçük değerlerinde ise, PFT artan basınçla azalmaktadır. Deney sonuçlarında, ilk ve son basınç değerlerinde ölçülen PFT'lerdeki belirgin azalma direkt olarak, sonraki bölümde verilecek olan çamur sıkışabilirliğiyle ilgilidir.

Daha önceki bölümde verilen sonuçlarla uyumlu olarak, burada da artan çamur konsantrasyonu ile PFT değerlerinin arttığı görülmektedir.

5.3.2. Çamur Sıkışabilirliğinin Belirlenmesi

Çamur sıkışabilirliği, daha önceki bölümlerde de anlatıldığı gibi, özellikle basınçlı filtrasyon sistemlerinde kek üretimini etkileyen bir parametredir. Sıkışabilirliğin en önemli ölçütü olan "sıkışabilirlik katsayısı" (s), değişik basınçlar altında çamurun SRF değerini ölçerek bulunmaktadır.

Bu çalışmada, değişik basınçlar altında ölçülen PFT'lerden, Bölüm 3'de verilen (3.3 no.lu) bağıntı yardımıyla,

$$\frac{SRF}{PFT} = 14.4 \times 10^6 \left(\frac{P}{C_0} \right) \left(\frac{\mu_{20}}{\mu_m} \right)$$

çamur SRF değerleri hesaplanmıştır. Hesap sırasında, viskozite oranları 1.0'e eşit alınmıştır. Bulunan değerler Tablo 5.8'de verilmiştir.

Tablo 5.8 Farklı Konsantrasyondaki Aktif Çamur SRF'lerinin Basınçla Değişimi

SRF (Tm/kg) ↓ C ₀ kg/m ³	Basınç (KN/m ²)				
	69	207	483	552	690
18.9	0.84	2.2	6.24	7.5	8.93
30	1.15	2.88	6.5	6.62	6.95
40	0.9	2.08	4.35	4.80	5.5

Tablodaki sonuçlardan görüleceği gibi, artan basınçla beraber, PFT'nin tam tersi olarak SRF değerleri de artmaktadır.

$$SRF = k (P)^S \dots\dots (2.29)$$

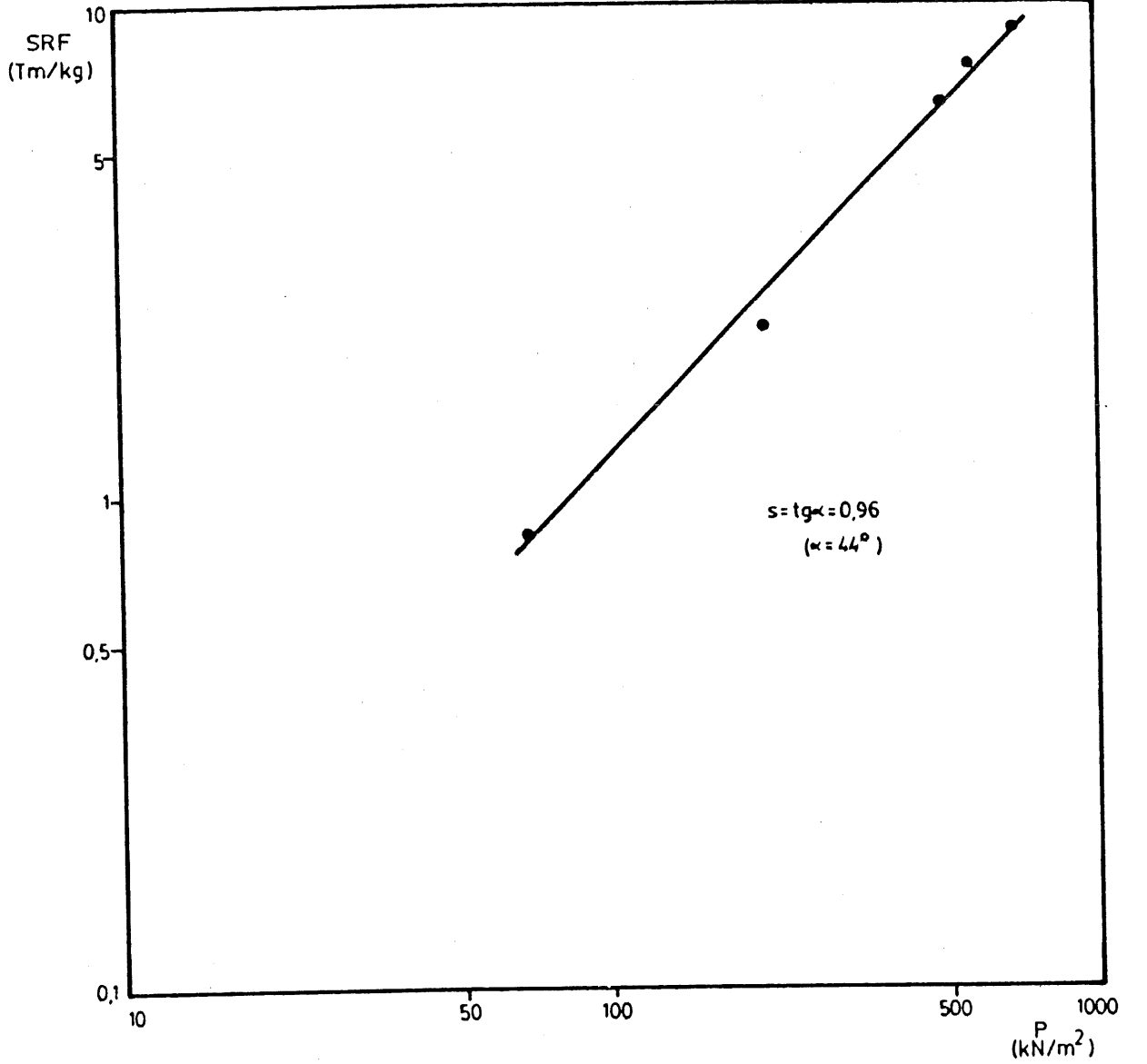
Bu artış, oluşan kek üzerinde meydana gelen hidrolik kuvvetlerden dolayı, çamur içerisinde bulunan sıkışabilir askıda katı maddelerin ezilmesi ve bir araya gelmesinden kaynaklanmaktadır [37].

SRF'nin basınçla olan bu artışından faydalanılarak elde edilen grafikler, Şekil 5.7, Şekil 5.8 ve Şekil 5.9'da verilmiştir. Doğruların eğiminden hesaplanan sıkışabilirlik katsayısı değerleri ise, Tablo 5.9'da görülmektedir.

Tablo 5.9 Sıkışabilirlik Katsayısının Çamur Konsantrasyonlarına Bağlı Değişimi

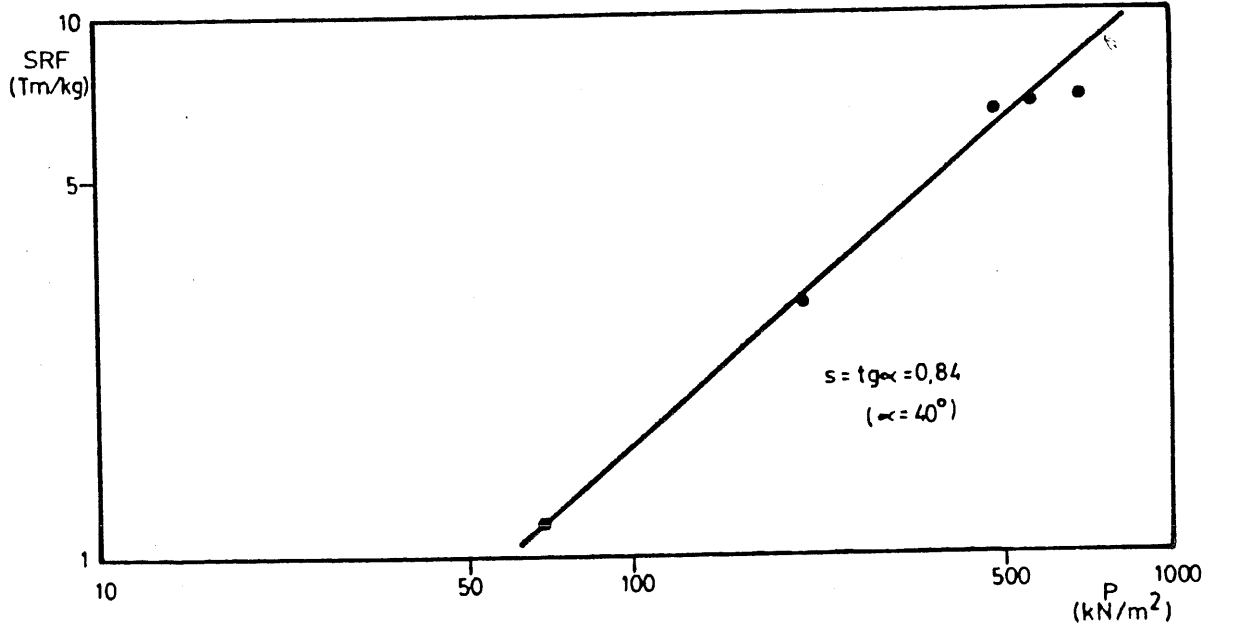
C_0 (kg/m ³)	$s = \text{tg } \alpha$	α (o)
18.9	0.96	44
30	0.84	40
40	0.81	39

Şekillerden ve tablodan görüleceği gibi, sıkışabilirlik katsayısı, düşük besleme çamur konsantrasyonunda daha fazla olmakta ve artan çamur katı madde oranlarıyla biraz azalmaktadır. Esas olarak, çamur konsantrasyonunda meydana gelen iki kat artış, sıkışabilirlik katsayısının değerini % 15 oranında değiştirebildiğinden, aynı çamura ait üç farklı konsantrasyonun sıkışabilirliğinin etkilenmediği sonucu ortaya çıkmaktadır. Sıkışabilirlik katsayıları PFT sonuçlarıyla birlikte incelendiğinde, $s=0.96$ olan aktif çamur örneğine ait ($C_0=18.9 \text{ kg/m}^3$) PFT ölçümlerinin basınçtan en az etkilendiği görülmektedir (Tablo 5.7). Bu da, (s)'nin 1.0'e yakın ve eşit değerleri için, PFT'nin



Şekil 5.7 Sıkışabilirlik Katsayısının (s) Bulunması
($C_0 = 18.9 \text{ kg/m}^3$)

basıncıdan bağımsız olduğu görüşünü doğrulamaktadır. Bunun yanında, çamur sıkışabilirlik katsayısı küçüldükçe, PFT'nin değişik basınçlarda ölçülen değerleri arasındaki fark artmaktadır.

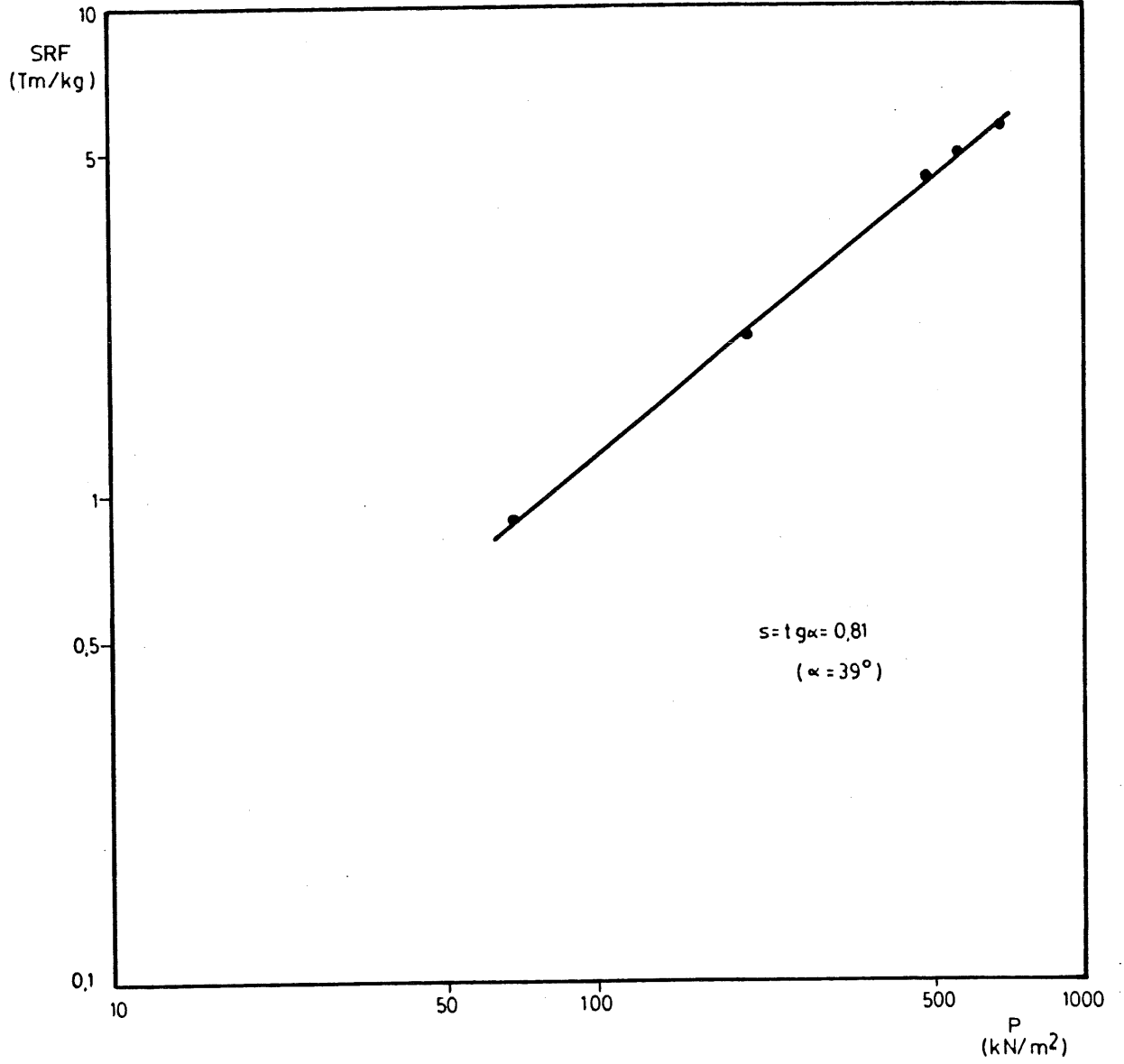


Şekil 5.8 Sıkışabilirlik Katsayısının (s) Bulunması
($C_0 = 30 \text{ kg/m}^3$)

SRF değerlerinin besleme çamur konsantrasyonuna bağlı olarak değişimi de, literatür çalışmalarıyla uyum içerisindedir. Artan konsantrasyonlar için, SRF değerleri azalmaktadır. Çamur konsantrasyonunun düşük değerlerinde, çamurun filtrasyonu daha kolay olmaktadır. Çamur askıda katı madde oranındaki artış, filtrasyona olan direnci arttıracığından, suyunu alma verimini etkilemektedir.

Çamur suyunu alma çalışması öncesinde yapılan şartlandırma nedeniyle elde edilen bütün SRF değerleri, uygun filtrasyon için literatürde verilen 1-10 Tm/kg aralığı içerisinde kalmaktadır. Ayrıca, bulunan sıkışabilirlik katsayısı değerleri, aktif çamur için literatürde verilen aralıkta kalıp 1.0'e yakındır. Bu sonuç da, aktif çamurun sıkışabilirliğinin yüksek olduğunu doğrulamaktadır.

0,7 SRF
0,7 PFD



Şekil 5.9 Sıkışabilirlik Katsayısının (s) Bulunması
($C_o = 40 \text{ kg/m}^3$)

5.3.3. Basıncın Kek Konsantrasyonu Üzerine Etkisi

PFT metre yardımıyla, aktif çamurun besleme konsantrasyonundaki değişimin, farklı basınçlarda üretilen kek katı konsantrasyonuna etkisi denenmiştir. Optimum karıştırma koşullarıyla ve optimum dozajda şartlandırılan çamur örnekleri, sıkışabilirlik katsayıları belirlendikten sonra, 24 saat süreyle beş değişik basınç altında sıkıştırılmıştır.

Sonuçların daha iyi gözlenebilmesi için, Tablo 5.10 düzenlenmiştir.

Tablo 5.10 Farklı Aktif Çamur Örneklerinde Kek Katı Konsantrasyonlarının Basınçla Değişimi

Ca(kg/m ³) ↓ C ₀ kg/m ³	Basınç (KN/m ²)				
	69	207	483	552	690
18.9	189	265	290	310	327
30	175	242	320	330	351
40	217	282	317	344	355

Yukarıdaki sonuçlardan, basınçla beraber konsantrasyonda bir artış olduğu görülmekle beraber, çamur besleme konsantrasyonundaki değişimin, kek katı madde oranını önemli olarak etkilemediği bulunmuştur.

Değişik besleme konsantrasyonlarında, çamurların sıkışabilirlik indeksleri ve nihai konsantrasyonları Tablo 5.11 de verilmiştir.

Basınç deneylerinde elde edilen sıkışabilirlik indekslerinin, santrifüj deneylerinde bulunanlara yakın olduğu

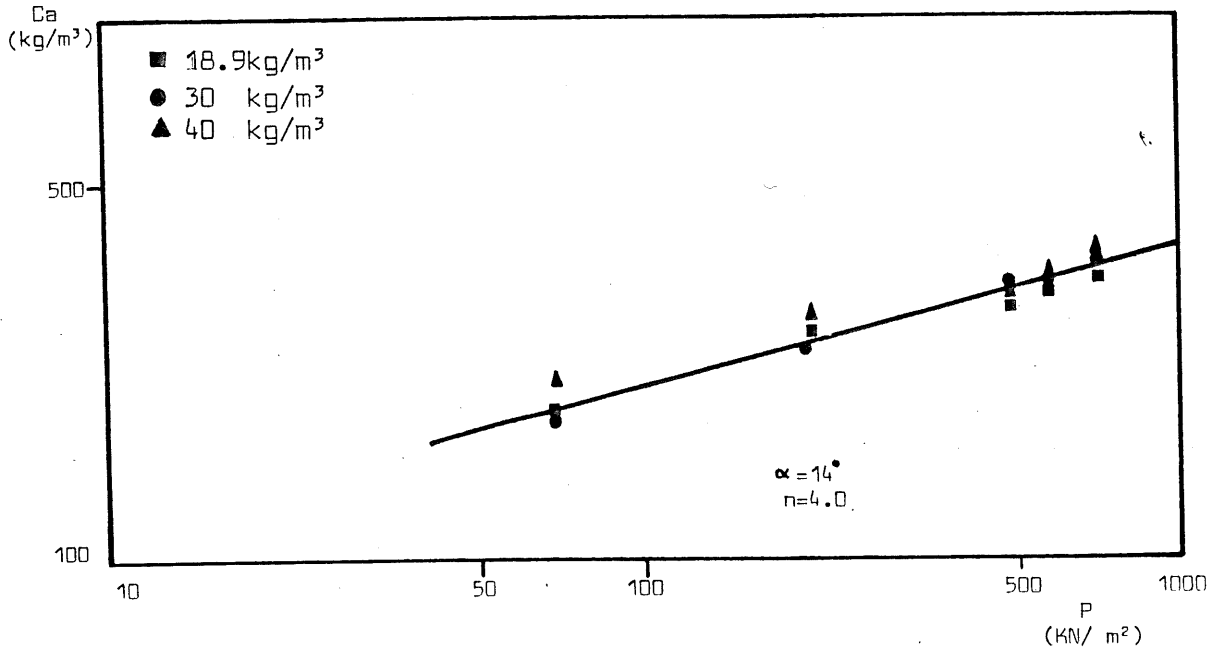
Tablo 5.11 Değişik Basınçlar Altında Elde Edilen Sıkışabilirlik İndeksleri ve Nihai Çamur Konsantrasyonları

C_0 (kg/m ³)	$n=1/tg$	α (o)	C_u (kg/m ³)
18.9	3.95	14.2	327
30	3.33	16.7	351
40	4.09	13.8	355

görülmektedir. Bu da, aynı çamurun gerek santrifüjyel ivme altında yaratılan düşük basınç değerlerinde (258-3747 N/m²), gerekse kompresör tarafından oluşturulan yüksek basınçlarda (69-690 KN/m²) sıkışabilirliğinin değişmediğini ortaya koymaktadır (n=4).

Nihai çamur konsantrasyonları, bir filtre preste 690 KN/m² olarak uygulanan işletme basıncı altında üretilen ve filtrasyonun tamamen bittiği kabulüyle elde edilen değerlerdir. Her üç çamur konsantrasyonu için bulunan değerler birbirlerine çok yakındır. Bu nedenle, uygun koşullarda şartlandırılan aktif çamur örneklerinden, belirli basınçlar altında üretilecek kek katı madde oranının, besleme çamuru konsantrasyonundan bağımsız olduğu sonucu ortaya çıkmaktadır. En küçük kareler yöntemini kullanarak elde edilen ortak eğri, (Şekil 5.10) üç ayrı konsantrasyondaki aktif çamuru karakterize etmektedir. Ortak eğrinin sıkışabilirlik indeksi n=4.0 olup, $\alpha = 14^{\circ}$ lik bir eğimle on katlık bir basınç artışı altında sıkışmaktadır.

Basınç deneylerinden bulunan diğer bir sonuç ise, sıkışabilirlik katsayısının (s) kek katı konsantrasyonu üzerine etkisidir. Her üç çamur konsantrasyonu için de kek katı madde oranı, basınçla beraber artmaktadır.



Şekil 5.10 Kek Konsantrasyonunun Basınçla Değişimi

Ancak bu artış, basınçtaki artışla orantılı olmamaktadır. Çamur besleme konsantrasyonundan bağımsız olarak, elde edilen kek katı madde oranı % 35'i geçememektedir. Çamur sıkışabilirliğinin fazla olması, daha önceki bölümlerde de açıklandığı gibi, çamur danelerini sıkıştırarak süzüntü sularının dışarı çıkmasını engellemektedir ve nem oranı yüksek kek elde edilmektedir. Bu durumda yüksek basınçlı sistemlerin uygulanması, kek konsantrasyonunu önemli derecede etkilemeyecektir. Örnek olarak ortak eğriye bakılırsa, basıncın 483 KN/m²'den 690 KN/m²'ye yükselmesi, kek konsantrasyonunu ancak % 3.5 arttırmaktadır. Bu durumda karar verilmesi gereken, sistem maliyetinin etkisidir. Bant filtre pres kullanarak 483 KN/m² basınç altında kek üretimi, sistemin ilk yatırım ve işleme maliyeti ile çamur üretim miktarlarına bağlı olarak düşünülmelidir.

Çamur suyunu alma sistemi olarak filtre pres seçilmesi halinde, üçüncü bölümde verilen performans kartlarından, sıkıştırma süresinin hesabı aşağıdaki yöntemle yapılmaktadır.

Filtrasyonun tamamlama derecesi 0.95 ve plaka genişliği (W) 32 mm olarak alınır, Şekil 5.11'de verilen performans kartından sıkıştırma süresi hesaplanabilir. Çamur besleme konsantrasyonuna bağlı olarak elde edilebilecek nihai kek konsantrasyonu, deney sonuçlarına göre, 320-360 kg/m³ aralığında kalacaktır. Çamurlara ait PFT değeri 20 sn olarak ölçüldüğünden, besleme konsantrasyonlarına bağlı olarak bulunan sıkıştırma süreleri, 1-4 saat arasında değişmektedir. Başka bir deyimle, besleme konsantrasyonu 18.9 kg/m³, PFT'si 20 sn olan bir çamurdan, 320 kg/m³ konsantrasyonunda bir kek elde etmek için, filtre preste gerekli sıkıştırma süresi yaklaşık 3.5 saattir. Bu süreye yaklaşık 0.5 saatlik doldurma süresi de eklenirse, dört saate ihtiyaç duyulacaktır. Bu hesap sırasında, PFT ölçümleriyle çamur sıkıştırma işleminin aynı sıcaklıkta yürütüleceği kabul edilerek, viskozite düzenlemesi yapılmamıştır ($\mu\text{m}/\mu\text{p} \rightarrow 1$).

Performans kartlarına göre, aynı nihai çamur konsantrasyonunu elde etmek için, PFT'si aynı çamurlardan besleme konsantrasyonu düşük olanın sıkıştırma süresi daha uzundur. Buna bağlı olarak, uygun bir filtrasyon için şartlandırılan üç çamurdan besleme konsantrasyonu en yüksek 40 kg/m³'lük örneğin, filtre preste 360 kg/m³-lük kek konsantrasyonuna ulaşması için gerekli sıkıştırma süresi, diğerlerine oranla bir saat daha kısadır.

BÖLÜM 6 SONUÇLAR

Daha önce bir uygulaması bulunmayan ve ilk defa çamur suyunu alma deneylerinde bir performans parametresi olarak kullanılan "basıncılı filtrasyon süresi" (PFT)'-ye bağlı olarak, aktif çamur filtrasyonuna çamur besleme konsantrasyonunun etkilerinin araştırıldığı bu çalışmada, elde edilen sonuçlar aşağıda verilmiştir:

1. Çamur filtrasyonundan önce yapılan ve sistem verimi önemli ölçüde etkileyen kimyasal şartlandırmada, kationik ve yüksek moleküler ağırlıklı polielektrolitler iyi sonuçlar vermektedir.
2. Polielektrolit ile yapılan çamur şartlandırmasına etki eden en önemli faktörler, karıştırıcı hızı ve süresi olmaktadır. Evsel çamurlar için optimum karıştırma koşulları 1000 dev/dk-2 sn olarak verilirken, bu çalışmada bu değer, özellikle 40 kg/m³ çamur konsantrasyonu için 1700 dev/dk-3 sn bulunmuştur.
3. Çamur şartlandırılmasının başarısına etki eden diğer bir faktör de, optimum polielektrolit dozu olmaktadır. Artan besleme çamur konsantrasyonlarıyla beraber, uygulanması gerekli optimum polielektrolit dozajı da artmaktadır. Bu değer, çamur konsantrasyonlarına bağlı olarak 1.59-2.5 kg PE/t.SS arasında değişmektedir. Artan polielektrolit dozajına bağlı olarak, PFT değerleri azalmaktadır.
4. PFT teorisine uygun olarak, değişik basınçta yapılan deneylerde, PFT'nin çok düşük basınçlar dışında

basıncıdan bağımsız olduğu bulunmuştur. Çamur sıkışabilirliğinin yüksek olduğu 18.9 kg/m³ çamur konsantrasyonunda, PFT değerleri birbirlerine daha yakın olurken, sıkışabilirliğin azaldığı diğer konsantrasyonlarda en düşük ve en yüksek basınçtaki PFT değerleri arasındaki fark büyüyebilmektedir.

5. PFT teorisine uygun olarak artan çamur konsantrasyonları için, PFT değerleri de artmaktadır. Bu artış, yapılan uygun şartlandırmayla, istenilen ölçekte tutulabilmektedir.
6. Genel olarak çamur sıkışabilirlik indeksinin (n), çamur sıkışabilirlik katsayısının (s) ve kek katı oranının, besleme çamuru konsantrasyonundan bağımsız olduğu söylenebilir.
7. Santrifüj ve PFT metre deneylerinden bulunan sıkışabilirlik indeksi değerleri n=4.0 olup, birbirlerine eşittir.
8. Aktif çamur örnekleri, literatür sonuçlarına da uygun olarak, sıkışabilir özelliktedir. Sıkışabilirlik katsayıları (s) 1.0'e yakın olup, verilen aralıklara uygun kalmaktadır.
9. Aktif çamur kek konsantrasyonu, basınç ile artmaktadır. Ancak bu artış, basınçtaki artışla orantılı olmamaktadır. Yüksek basınçlı sistemler, aktif çamur sıkışabilirliğinin fazla olması nedeniyle, kuru katı konsantrasyonu fazla çamur üretememektedirler. Aktif çamurdan bir filtre preste üretilebilecek kekin maksimum konsantrasyonu, 320-360 kg/m³ aralığında kalmaktadır. Bu nedenle sistem seçimi yapılırken, çamur üretimi ve ilk yatırım ile işletme maliyetleri göz önüne alınmalıdır.

10. Besleme çamuru konsantrasyonu, özellikle filtre preslerde sıkıştırma sürelerinin belirlenmesine etki etmektedirler. Aynı konsantrasyonda kek üretebilmek için, besleme konsantrasyonu düşük olan çamurun sıkıştırma süresi yüksek olmaktadır. Çamur konsantrasyonlarına bağlı olarak, filtre preslerde bulunan sıkıştırma süreleri 1-4 saat arasında değişmektedir.

11. Uygun bir filtrasyon için, aynı çamurun yoğunlaştırılması, yapılacak efektif bir şartlandırmanın yanında çok fazla önem taşımamaktadır. Uygulana-
cak suyunu alma sistemi için belirlenen besleme çamuru konsantrasyonu, yapılacak verimli bir şartlandırma ile, kolaylıkla suyunu bırakacaktır. Aynı çamuru çok fazla yoğunlaştırmak, verimli bir çamur şartlandırmaya hiçbir zaman alternatif ol-
mamaktadır.

KAYNAKLAR

- [1] GÖNENÇ, İ.E., Utilization and Disposal of Industrial and Municipal Wastewater Sludge in İzmit Bay, Tech. Univ. of İstanbul, Env. Eng. Div. (Nato's Committee on the Challenges of Modern Society), (1985)
- [2] Manuals of British Practice in Water Pollution Control, Sewage Sludge II, (1981)
- [3] VESİLİND, P.A., Treatment and Disposal of Wastewater Sludges, Ann Arbor Science, Michigan, (1974)
- [4] Standart Methods for the Examination of Water and Wastewater American Public Health Association, Washington D.C., 16th Edition, (1985)
- [5] METCALF and EDDY, Wastewater Engineering Treatment, Disposal, Reuse, Mc Graw Hill, New York, (1979)
- [6] CAMPBELL, H.W., RUSH, R.J., TEW, R., Sludge Dewatering Design Manual, Wastewater Technology Centre, Environmental Protection Service, Fisheries and Environment Canada, Project No.75-3-22, Ottawa, (1978)
- [7] ÇETİN, D.F., A Study on Various Parameters Affecting Physical Properties of Activated Sludge, A Master's Thesis in Env. Eng. Div., Middle East Tech. Univ., Ankara (1987)
- [8] GÖNENÇ, İ.E., The Stirred Specific Volume Index and the Rate of Hindered Settling, Explanatory Papers, WRC, England, (1980)
- [9] GANGZARCZYK, J.J., Activated Sludge Process, Marcel Dekker, Inc., New York, (1983)
- [10] MOHLMAN, F.W., The Sludge Index, Sew. Works Journal, 6, 1, pp.119, (1934)
- [11] WHITE, M.J.D., Instruction Manual for WRC Settling Apparatus for Activated Sludge, Technical Memorandum, TM 103, (1975)
- [12] WEBER, W.J.Jr., Physicochemical Processes for Quality Control, Wiley-Interscience, New York, (1972)

- [13] COLIN, F., Caractéristiques Générales et Étude des Boues Résiduaire En Vue de Leur Déshydratation, T.S.M., L'Eau, pp.237-249 (1971)
- [14] FROST, R.C., How To Design Sewage Sludge Pumping Systems, WRC, Technical Report 185, (1983)
- [15] USEPA, Process Design Manual for Sludge Treatment and Disposal, EPA 625/1-79-011, (1979)
- [16] Degremont, Water Treatment Handbook, Halsted Press, New York, (1979)
- [17] Water Pollution Control Federation, Sludge Dewatering, Manual of Practice 20, Lancaster Press, Inc., (1983)
- [18] USEPA, Sludge Treatment, EPA 625/4-78-012, (1978)
- [19] Water Pollution Control Federation Manual of Practice No.8, Wastewater Treatment Plant Design, 2th Print, Lancaster Press, Inc., (1982)
- [20] Processing and Use of Sewage Sludge, Proc. of 3th Symp. held at Brighton, D. Riedel Pub. Company, Dordrecht, Holland, (1984)
- [21] HAWORTH, P.J., ROBERTS, K., Development and Application of Filterbelt Presses, Filtration and Separation Vol.15, No.6, pp.572-576, (1978)
- [22] GALE, R.S., Solid/Liquid Separation Equipment Scale-Up, ed. Purchas, D.B. pp.40-79, Upland Press Ltd., Croydon, England, (1977)
- [23] CARMAN, P.C., Fundamental Principles of Industrial Filtration (A Critical Review of Present Knowledge), Transactions Institution of Chemical Engineers, 16, 168, (1938)
- [24] CHRISTENSEN, L.G., DICK, R.I., Specific Resistance Measurements: Nonparabolic Data, J. of Environmental Eng., ASCE, Vol.111, No.3, (1985)
- [25] KAVANAGH, B.V., The Dewatering of Activated Sludge: Measurement of Specific Resistance to Filtration and Capillary Suction Time, Water Pollution Control, Vol.79, No.3, (1980)

- [26] HOYLAND, G., DAY, M., BASKERVILLE, R.C., Getting out of a Filter Press, WRC, Technical Report 173, (1981)
- [27] Water Research Center, Coleshill Experimental Plant Explanatory Papers, Filter Pressing of Sludges, (1980)
- [28] HOYLAND, G., DAY, M., Derivation and Application of a Mathematical Model for the Filter Plate Pressing Sewage Sludge, Filtration and Separation, July/Aug., (1983)
- [29] GALE, R.S., Some Aspects of the Mechanical Dewatering of Sewage Sludges, Filtration and Separation, 5, 133, (1968)
- [30] GRAEFEN, H., DÖNGES, H.J., Studie on Parameters Affecting Sludge Dewatering in Pressure Filters, Proc. of 5th Int. Water Pollution Research Conference, Published by Pergamon Press, (1971)
- [31] KEMPA, E.S., FUKAS-PLONKA, L., Determination of SRF: A Critical Review, Flemish Chapter of the Filtration Society, London, (1982)
- [32] SWANWICK, J.D., DAVIDSON, M.F., Determination of Specific Resistance to Filtration, Water Pollution Research Laboratory, Reprint No.380, (1961)
- [33] NOTEBAERT, F.F., WILMS, D.A. ve VAN HAUTE, A.A., A New Deduction with a Larger Application of the SRF of Sludges, Water Research, Vol.9, pp.667-673, (1975)
- [34] SMOLLEN, S., Dewaterability of Municipal Sludges 1, Water SA, Vol.12, No.3, (1986)
- [35] VESILIND, P.A., Capillary Suction Time as a Fundamental Measure of Sludge Dewaterability, Journal WPCF, Vol.60, No.2, (1988)
- [36] BRUCE, A.M., DAY, M., Kişisel Görüşme, Water Research Center, Stevenage Lab. U.K. (1987)
- [37] HOYLAND, G., DAY, M., Flocculation Control and Dewatering Use and Uses on PFT Meter, WRC, 449-s, (1986)
- [38] BASKERVILLE, R.C., BRUCE, A.M., DAY, M., Laboratory Techniques for Predicting and Evaluating the Performance of a Filterbelt Press, Water Pollution Research Laboratory, Reprint No.1033, (1978)

- [39] SMOLLEN, S., Dewaterability of Municipal Sludges 2, Water SA, Vol.12, No.3, (1986)
- [40] WU, Y.C., SMITH, E.E., NOVAK, R.A., Filterability of Activated Sludge in Response to Growth Conditions, Journal WPCF, Vol.54, No.5, (1982)
- [41] NOVAK, R.A., A Model for the Filterability of Activated Sludge Supported by the Mixed-Liquor Biochemical Data, Biotech. and Bioeng., 28, 1801, (1986)
- [42] KNOCKE, W.R., ZENTKOVIC, T.L., Effects of Mean Cell Residence Time and Particle Size Distribution on Activated Sludge Vacuum Dewatering Characteristics, Journal WPCF, Vol.58, No.12, (1986)
- [43] WU, Y.C., HAO, O.J., OU, K.C., Improvement of Activated Sludge Filterability, Journal WPCF, Vol.57, No.10, (1985)
- [44] ONAY, T.T., GÖNENÇ, İ.E., Sludge Dewatering Techniques, (NATO Scientific Affairs Division Science for Stability Program) Wastewater and Treatment Studies, TÜBİTAK MAE, Gebze, (Basımda)
- [45] HOYLAND, G., OVENS, J., Development of New Filter-Pressing Support Systems, Jour. of Water Pollution Control, Vol.86, No.1, (1987)
- [46] HOYLAND, G., DAY, M., DEE, A., Design Procedure for Sewage Sludge Consolidation Tanks, WRC, 373-s, (1985)
- [47] GÖNENÇ, İ.E., ALTINBAŞ, U., ONAY, T.T., İzmit Körfez Bölgesinde Endüstriyel ve Kentsel Atırma Çamurlarının Kullanımı ve Uzaklaştırımı, 6. Türk-Alman Semp. Tebliği, (1987)

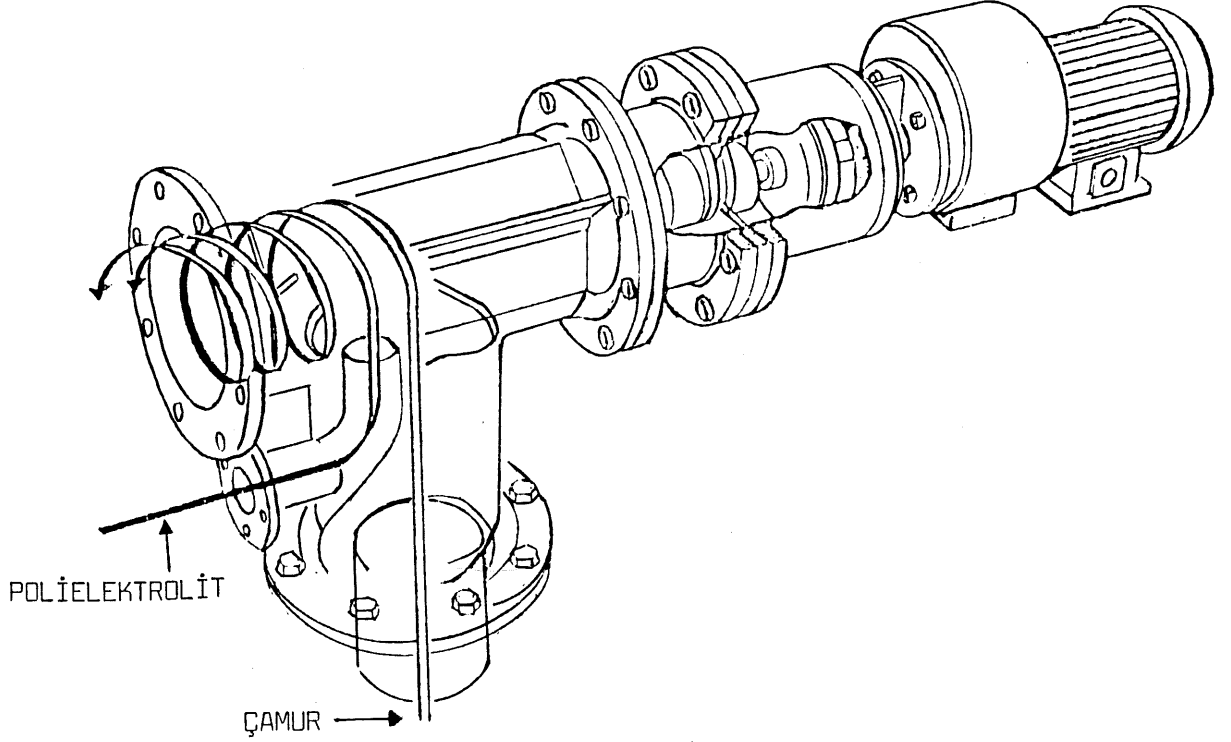
EK 1

KULLANILAN AYGIT LİSTESİ VE ÜRETİCİLERİ

<u>AYGIT</u>	<u>TİPİ</u>	<u>ÜRETEN FİRMA</u>
1. PFT Metre (İki adet)	Mark I	Richard Matthews Enterprises South Bridge, North-Hampton NN4 9BS, U.K.
2. Kompresör	3.75 cfm 8 bar 10L rezervuar	Machine Mart 71-73 Manchester Road Altringham, Cheshire WA14 4RJ, U.K.
3. Filtre Kağıdı	Whatman No.17 4,7 cm çap Kat No.F-1100	Scientific Supplies Scientific House Vine Hill, London EC 1R 5EB, U.K.
4. Değişken Hızlı Karıştırıcı	Heidolph RZ R50	Gallenkamp P.O. Box 290 38 Finsbury Sq., London EC2A 1ST, U.K.
5. PFT Timer	Compact 100	Richard Matthews Enterprises
6. Karıştırıcı İçin Timer	Type 131	Triton Electronics Brigods Hall Dunmow Essex, U.K.
7. Santrifüj	SEPA Santrifüj	WRc-Stevenage, U.K.

EK 2

"OPTİFLOC" KARIŞTIRMA SİSTEMİ



Şekil A-2.1 "Optifloc" Karıştırıcı

Filtrasyon öncesinde kullanılan pek çok karıştırıcı sistemlerde, polielektrolit çözeltileri çamur besleme pompalarının emme boruları tarafından dozlanmaktadır. Böylece, pompa içerisinde çamur ile polielektrolit çözeltisi karışımı sağlanmaktadır. Ancak, İngiltere'de Water Research Center (WRc) tarafından, filtre preslerden önce kullanılmak üzere, yeni bir karıştırma sistemi geliştirilmiştir. OPTİFLOC olarak adlandırılan bu sistemin esası, polielektrolit çözeltisini, çamur basma borusu tarafında, özel "in-line" mekanik karıştırıcı yardımıyla dozlamaktır (Şekil A-2.1). Bu yolla, pompa içerisinde meydana gelebilecek kesme kuvvetleri önlediği gibi, dozlama noktasındaki karıştırma koşulları kontrol edilebildiğinden, en uygun polielektrolit kullanımı yapılabilmektedir [45].

ÖZGEÇMİŞ

Turgut T. ONAY 1964 yılında Ankara'da doğdu. İlk öğrenimini Ankara'da, orta öğrenimini İzmir ve lise öğrenimini İstanbul Saint-Joseph Lisesinde tamamladı. 1982'de girdiği İstanbul Teknik Üniversitesi Çevre Mühendisliği bölümünden 1986 yılında mezun oldu. 1986 yılından beri TÜBİTAK MAE Kimya Bölümü Çevre Gurubunda uzman yardımcısı olarak görev yapmaktadır.